

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
Programa de Pós-Graduação em Educação

Alisson Cristian Giacomelli

EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO: DA  
CONCEPÇÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA  
ÀS CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA EM FÍSICA

Passo Fundo

2020

Alisson Cristian Giacomelli

EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO: DA  
CONCEPÇÃO HISTÓRICO-EPITEMOLÓGICA  
ÀS CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM  
SIGNIFICATIVA EM FÍSICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação, da Faculdade de Educação, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Educação, sob a orientação da Prof. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa.

Passo Fundo

2020

Alisson Cristian Giacomelli

**Experimentos de pensamento: da concepção histórico-epistemológica às contribuições para a aprendizagem significativa em Física**

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa – Orientadora  
Universidade de Passo Fundo - UPF

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Dr. Italo Gabriel Neide  
Universidade do Vale do Taquari Univates

Prof. Dr. Cláudio Almir Dalbosco  
Universidade de Passo Fundo - UPF

Prof. Dr. Luiz Marcelo Darroz  
Universidade de Passo Fundo - UPF

Prof. Dr. Altair Alberto Fávero  
Universidade de Passo Fundo - UPF

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha professora e orientadora, Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa, por acreditar no meu trabalho, auxiliando-me na concretização de mais essa etapa. Quero agradecer, principalmente, pela dedicação, pelos conselhos, pela amizade e pelos ensinamentos que levarei para o resto da minha vida.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Educação (PPGEdu) da Universidade de Passo Fundo (UPF). Aos colegas do curso de Doutorado em Educação, por todas as experiências, pela amizade e pelos momentos de troca de conhecimento.

A toda a equipe do curso de Física da Universidade de Passo Fundo, constituído por professores, funcionários e estagiários, por todos os momentos de troca de ideias, discussões, pelos ensinamentos e principalmente pela amizade.

A todos os meus familiares e amigos que de uma forma ou de outra me ajudaram a chegar ao final de mais essa etapa da minha vida.

“Experimentos de pensamento são realizados no laboratório da mente. Além desse pedaço de metáfora, é difícil dizer exatamente o que são. Nós reconhecemo-los quando os vemos: são visualizáveis; eles envolvem manipulações mentais; eles não são a mera consequência de um cálculo baseado em teorias; eles são muitas vezes (mas nem sempre) impossíveis de se implementar como experimentos reais, quer porque nos falta a tecnologia relevante, ou porque são simplesmente impossíveis em princípio. Se tivermos a sorte de criar uma definição de experiência de pensamento, é provável que esteja no final de uma longa investigação”.

James Robert Brown (1991).

## RESUMO

O presente estudo parte da necessidade de discutir a potencialidade dos Experimentos de Pensamento (EPs) para a aprendizagem em Física. A problemática reside no fato de que, embora esses experimentos tenham servido, e ainda sirvam, de subsídio para a produção e a divulgação do conhecimento científico, são pouco explorados como estratégia didática. Com base nessa percepção, acompanhada do entendimento de que tais experimentos podem contribuir para a construção dos conceitos físicos, formulou-se a questão central da investigação: como os elementos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante a realização de EPs em Física podem ser representativos de indícios de aprendizagem significativa? Para respondê-la, a pesquisa foi estruturada em dois momentos, um de natureza bibliográfica e outro, empírica. Inicialmente, buscou-se identificar, na bibliografia da área, os diferentes entendimentos do que é um Experimento de Pensamento e suas compreensões epistemológicas com base nas discussões de James Robert Brown, Roy A. Sorensen, Thomas S. Kuhn e John D. Norton. Além disso, esse momento inicial ocupou-se de relatar exemplos de EPs presentes na história da Física e relacionadas a essas diferentes compreensões epistemológicas. O segundo momento, referente a uma abordagem didática focada na resolução de situações-problema, foi desenvolvido com duas turmas de professores de Física em formação inicial. Essas atividades envolveram a realização de um conjunto de dois EPs em cada uma das turmas, no intuito de verificar quais são as contribuições dos EPs para a aprendizagem significativa dos conceitos a partir da utilização didática dos episódios históricos dos experimentos. Para esse segundo momento, buscou-se subsídio na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), na voz de David Ausubel e nos estudos de Marco Antonio Moreira. Do ponto de vista metodológico, a pesquisa toma como referencial a abordagem qualitativa, voltando-se à perspectiva interpretacionista dos dados produzidos, particularmente os referentes ao segundo momento, ocorrido no contexto da sala de aula. Salienta-se que este momento foi antecedido por um estudo piloto realizado com quatro acadêmicos de Física, possibilitando identificar fragilidades e potencialidades tanto em termos das situações-problema a serem apresentadas aos participantes quanto do procedimento para análise dos dados. O estudo definitivo realizado com as turmas contou com um total de dez estudantes, todos do mesmo curso de licenciatura em Física onde se deu o estudo piloto. Os dados, no estudo definitivo, emergiram da realização de um teste inicial aplicado para evidenciar os possíveis conhecimentos subsunçores necessários à atividade, seguido da realização de dois EPs históricos com cada grupo. Para a produção desses dados foram utilizados, como instrumentos, os materiais escritos pelos acadêmicos, bem como videogravações das discussões estabelecidas entre os participantes e deles com o pesquisador. Os resultados possibilitaram estabelecer a hierarquização proposta pelo referencial teórico e, a partir, desta, inferir que os EPs revelam-se como uma tarefa potencialmente significativa, permitindo averiguar indícios de aprendizagem significativa.

**Palavras-chave:** Tarefas potencialmente significativas. Hierarquização de significados. Ensino de Física.

## THOUGHT EXPERIMENTS: FROM THE HISTORICAL-EPISTEMOLOGICAL CONCEPTION TO MEANINGFUL LEARNING CONTRIBUTIONS IN PHYSICS

### ABSTRACT

The present study emerges from the need to discuss the potential of Thought Experiments (TEs) for the learning of Physics. The problem lies in the fact that, although these experiments have and still serve, as a subsidy for the production and dissemination of scientific knowledge, they are little explored as a didactic strategy. Based on this perception, accompanied by the understanding that such experiments can contribute to the construction of physical concepts, the central question of the research was formulated: how the cognitive elements mobilized by students during the performance of TEs in Physics can be representative evidence of meaningful learning? In order to answer it, the research was structured in two parts, the first of bibliographic nature and the other, empirical. First, we tried to identify through bibliographic research the different understandings of what a Thinking Experiment (TE) is and its epistemological understandings from the discussions of James Robert Brown, Roy A. Sorensen, Thomas S. Kuhn and John D. Norton. In addition, this initial moment concerned reporting examples of TE present in the history of Physics and related to these different epistemological understandings. Secondly, from a didactic approach focused on the resolution of problem situations, a set of two TEs is developed with two classes of Physics teachers in initial training, totaling ten participants. These activities sought to verify the contributions of TEs to the meaningful learning of concepts from the didactic use of historical episodes of TEs. For this second moment, subsidy was sought in the Theory of Meaningful Learning (TML), in the voice of David Ausubel and in the studies of Marco Antonio Moreira. From a methodological point of view, the research takes as a reference the qualitative approach, turning to the interpretationist perspective of the data produced, particularly that referring to the second moment that occurred in the context of the classroom. It should be noted that it was preceded by a pilot study carried out with four Physics students making it possible to identify weaknesses and potentialities both in terms of the problem situations to be presented to the participants and in terms of the procedure for analyzing the data. The final study carried out with two groups involved a total of ten students, all from the same degree course in Physics in which the pilot study was carried out. Such data in the final study emerged from the realization of an initial test, applied with the objective of highlighting the possible subsumer knowledge required for the activity, followed by the realization of two historical TEs for each group. As instruments for producing this data, the written materials produced by the academics were used, as well as video recordings of the discussions established between the participants and between them and the researcher. The results made it possible to establish the hierarchy proposed by the theoretical framework and from that point on the data point out that TEs are revealed as a potentially meaningful task, allowing to ascertain evidence of meaningful learning.

**Keywords:** Potentially meaningful tasks. Hierarchization of meanings. Physics teaching

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Texto de apoio.....	105
Quadro 2 - Significados identificados na questão 1 do teste inicial.....	108
Quadro 3 - Significados identificados na questão 2 do teste inicial.....	108
Quadro 4 - Significados identificados na questão 3 do teste inicial.....	109
Quadro 5 - Significados identificados na questão 4 do teste inicial.....	113
Quadro 6 - Conceitos, princípios e proposições referentes aos participantes A1 e A2.....	126
Quadro 7 - Conceitos, princípios e proposições referentes aos participantes A3 e A4.....	128
Quadro 8 - Texto de apoio para a realização do EP1. ....	137
Quadro 9 - Texto de apoio para a realização do EP2. ....	139
Quadro 10 - Questão número 1 do teste inicial. ....	142
Quadro 11 - Significados identificados na questão 1 do teste inicial.....	142
Quadro 12 - Significados identificados na questão 2 do teste inicial.....	143
Quadro 13 - Significados identificados na questão 3 do teste inicial.....	144
Quadro 14 - Significados identificados na questão 4 do teste inicial.....	144
Quadro 15 - Questão número 5.....	145
Quadro 16 - Respostas à questão 5 do teste inicial. ....	145
Quadro 17 - Hierarquização dos significados construídos por A1G1.....	150
Quadro 18 - Hierarquização dos significados construídos por A2G1.....	153
Quadro 19 - Hierarquização dos significados construídos por A3G1.....	157
Quadro 20 - Hierarquização dos significados construídos por A4G1.....	161
Quadro 21 - Hierarquização dos significados construídos por A5G1.....	164
Quadro 22 - Hierarquização dos significados construídos por A6G1.....	169
Quadro 23 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP1. ....	174
Quadro 24 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP1. ....	175
Quadro 25 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP1. ....	175
Quadro 26 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP2. ....	176
Quadro 27 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP2. ....	177
Quadro 28 - Texto de apoio para a realização do EP1. ....	179
Quadro 29 - Texto de apoio para a realização do EP2. ....	181
Quadro 30 - Significados identificados na questão número 1.....	183
Quadro 31 - Significados identificados na questão número 2.....	183
Quadro 32 - Significados identificados na questão número 3.....	184



Quadro 33 - Significados identificados na questão número 4. ....	185
Quadro 34 - Significados identificados na questão número 5. ....	185
Quadro 35 - Significados identificados na questão número 6. ....	186
Quadro 36 - Hierarquização dos significados construídos por A1G2. ....	190
Quadro 37 - Hierarquização dos significados construídos por A2G2. ....	193
Quadro 38 - Hierarquização dos significados construídos por A3G2. ....	196
Quadro 39 - Hierarquização dos significados construídos por A4G2. ....	198
Quadro 40 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP1. ....	202
Quadro 41 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP1. ....	203
Quadro 42 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP1. ....	204
Quadro 43 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP2. ....	205

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação taxonômica. ....	37
Figura 2 - Trajetória descrita segundo a Física aristotélica para a Terra em repouso. ....	44
Figura 3 - Trajetória descrita segundo a Física aristotélica para a Terra em movimento.....	44
Figura 4 - Ponto de impacto segundo a Física aristotélica para o navio em repouso.....	46
Figura 5 - Ponto de impacto segundo a Física aristotélica para o navio em movimento. ....	46
Figura 6 - Balde em repouso. ....	51
Figura 7 - Três estados de movimento relativo entre a .....	52
Figura 8 - Balde e água em.....	53
Figura 9 - Balde e água em.....	53
Figura 10 - Representação dos campos elétrico e magnético que .....	55
Figura 11 - Motociclista perseguindo o ônibus com $v_{(c_1)} < v_o$ .....	57
Figura 12 - Motociclista perseguindo o ônibus com $v_{(c_2)} = v_o$ .....	58
Figura 13 - Motociclista perseguindo a luz com velocidade $v$ .....	60
Figura 14 - Elevador com aceleração constante no espaço “vazio”.....	63
Figura 15 - $O_1$ abandonado um objeto de massa $m_1$ . ....	64
Figura 16 - $O_1$ abandonando um objeto de massa $M_2$ .....	64
Figura 17 - Determinação da tração $T$ .....	66
Figura 18 - Diagrama da aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica em relação à aprendizagem por recepção e por descoberta. ....	74
Figura 19 - Relação entre aprendizagem significativa, significação potencial e significado psicológico.....	79
Figura 20 - Teoria da Assimilação. ....	82
Figura 21 - Retenção e esquecimento.....	86
Figura 22 - Ilustração da câmara para captura de áudio e vídeo em um dos grupos. ....	104
Figura 23 - Ilustração da captura de imagem feita pela câmara posicionada em um dos grupos. ....	104
Figura 24 - Representação utilizado por A1 para a trajetória na bola vista por um observador em repouso em relação ao ônibus, na questão 3 do teste inicial. ....	109
Figura 25 - Representação utilizado por A1 para a trajetória na bola vista por um observador em repouso em relação ao leito da estrada, na questão 3 do teste inicial.....	110
Figura 26 - Representação utilizado por A2 para o movimento da bola e do ônibus visto pelo observador em repouso em relação ao leito da estrada. ....	110

Figura 27 - Representação utilizada por A3 para determinar o movimento resultante da bola de gude. ....	111
Figura 28 - Representação utilizada por A3 para determinar a trajetória da bola de gude em relação à posição relativa do observador dentro do ônibus – observador na mesma linha do movimento da bola de gude.....	111
Figura 29 - Representação utilizada por A3 para determinar a trajetória da bola de gude em relação à posição relativa do observador dentro do ônibus – observador a frente da linha do movimento da bola de gude.....	112
Figura 30 - Representação utilizada por A3 para determinar a trajetória da bola de gude em relação à posição relativa do observador dentro do ônibus – observador atrás da linha do movimento da bola de gude.....	112
Figura 31 - Representação utilizado por P1 e P2 para a situação.....	114
Figura 32 - Representação utilizado por A1 e A2 para a situação do navio.....	115
Figura 33 - Diagrama da velocidade da esfera e do navio em.....	116
Figura 34 - Diagrama de representação do movimento realizado pelo .....	117
Figura 35 - Representação do movimento realizado pelo corpo em relação a S1,.....	117
Figura 36 - Diagrama de representação do movimento realizado pelo corpo construído por	119
Figura 37 - Representação feita por A6G1 para o EP2. ....	168
Figura 38 - Representação de A1G2 para o EP1. ....	189
Figura 39 - Representação de A2G2 para o EP1. ....	192
Figura 40 - Representação de A3G2 para o EP1. ....	194
Figura 41 - Representação de A4G2 para o EP1. ....	197

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Pesquisa qualitativa</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Procedimentos metodológicos</b> .....	<b>27</b>
2.2.1	<i>Método para produção dos dados</i> .....	28
2.2.2	<i>Procedimento para análise dos dados da pesquisa</i> .....	29
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Experimentos de pensamento: possíveis definições e classificações</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Exemplos de experimentos de pensamento na evolução das ideias da Física</b> .....	<b>40</b>
3.2.1	<i>Exemplos na Física Clássica</i> .....	42
3.2.2	<i>Exemplos da Física Moderna</i> .....	54
<b>4</b>	<b>TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Discussões iniciais</b> .....	<b>68</b>
<b>4.2</b>	<b>Aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica</b> .....	<b>69</b>
<b>4.3</b>	<b>Aprendizagem por recepção e por descoberta</b> .....	<b>72</b>
<b>4.4</b>	<b>Tipos de aprendizagem significativa</b> .....	<b>76</b>
<b>4.5</b>	<b>Condições para a aprendizagem significativa</b> .....	<b>78</b>
<b>4.6</b>	<b>Organizadores prévios</b> .....	<b>80</b>
<b>4.7</b>	<b>Teoria da Assimilação</b> .....	<b>81</b>
<b>4.8</b>	<b>Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa</b> .....	<b>83</b>
<b>4.9</b>	<b>Retenção e esquecimento</b> .....	<b>85</b>
<b>4.10</b>	<b>Evidência de aprendizagem significativa</b> .....	<b>87</b>
<b>4.11</b>	<b>Natureza, formação e utilização dos conceitos</b> .....	<b>88</b>
<b>4.12</b>	<b>Resolução significativa de problemas como promotora da aprendizagem significativa</b> .....	<b>94</b>
<b>5</b>	<b>PRIMEIROS PASSOS: ESTUDO PILOTO</b> .....	<b>98</b>
<b>5.1</b>	<b>Contexto e população do estudo piloto</b> .....	<b>98</b>
<b>5.2</b>	<b>Experimentos de Pensamento selecionados para o estudo piloto</b> .....	<b>99</b>
<b>5.3</b>	<b>Organização didática das atividades para o estudo piloto</b> .....	<b>101</b>
<b>5.4</b>	<b>Atividades desenvolvidas nos encontros</b> .....	<b>103</b>
<b>5.5</b>	<b>Resultados do estudo piloto</b> .....	<b>107</b>

5.5.1	<i>Teste inicial: verificando possíveis conhecimentos prévios</i> .....	107
5.5.2	<i>Experimentos de Pensamento: buscando indícios de aprendizagem significativa</i> .....	114
5.5.3	<i>Discussão dos resultados do estudo piloto</i> .....	125
5.5.4	<i>Considerações finais do estudo piloto</i> .....	130
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO EM SALA DE AULA – ESTUDO DEFINITIVO</b> .....	<b>132</b>
<b>6.1</b>	<b>Reformulações realizadas a partir do estudo piloto</b> .....	<b>132</b>
<b>6.2</b>	<b>Contexto e indivíduos do estudo</b> .....	<b>134</b>
<b>6.3</b>	<b>Organização didática das atividades</b> .....	<b>135</b>
<b>6.4</b>	<b>Resultados obtidos no estudo – Grupo 1</b> .....	<b>136</b>
6.4.1	<i>Experimentos de Pensamento selecionados para o estudo</i> .....	136
6.4.2	<i>Atividades realizadas nos encontros</i> .....	140
6.4.3	<i>Resultados</i> .....	141
6.4.3.1	Teste inicial: buscando por possíveis subsunçores .....	141
6.4.3.2	Análise dos episódios de ensino .....	146
6.4.3.2.1	Dados referentes aos materiais escritos produzidos pelos estudantes.....	146
6.4.3.2.2	Dados referentes as discussões coletivas .....	170
6.4.3.2.3	Discussão dos resultados referentes aos episódios de ensino realizados com o grupo G1 .....	173
<b>6.5</b>	<b>Resultados obtidos no estudo – Grupo 2</b> .....	<b>178</b>
6.5.1	<i>Experimentos de Pensamento selecionados para o estudo</i> .....	178
6.5.2	<i>Atividades realizadas nos encontros</i> .....	182
6.5.3	<i>Resultados</i> .....	182
6.5.3.1	Teste inicial: buscando por possíveis subsunçores .....	182
6.5.3.2	Análise dos episódios de ensino .....	187
6.5.3.2.1	Dados referentes aos materiais escritos produzidos pelos estudantes.....	187
6.5.3.2.2	Dados referentes as discussões coletivas .....	199
6.5.3.2.3	Discussão dos resultados referentes aos episódios de ensino realizados com o grupo G2 .....	202
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>208</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>216</b>
	<b>APÊNDICE A - Teste inicial estudo piloto</b> .....	<b>219</b>
	<b>APÊNDICE B - Teste inicial estudo final – Grupo G1</b> .....	<b>220</b>

<b>APÊNDICE C - Teste inicial estudo final – Grupo G2 .....</b>	<b>222</b>
<b>ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – estudo piloto .....</b>	<b>223</b>
<b>ANEXO B - Parecer do Comitê de Ética e Pesquisa .....</b>	<b>224</b>
<b>ANEXO C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – estudo definitivo .....</b>	<b>225</b>

## 1 INTRODUÇÃO<sup>1</sup>

Na maioria das vezes, quando se reflete sobre as criações da imaginação, a primeira ideia que vem à mente são mundos fictícios com personagens fantásticos onde tudo é possível, inclusive burlar as leis da Física. A imaginação pode ser entendida como um exercício em que o indivíduo tem total liberdade criativa. Por outro lado, existem atividades imaginativas que demandam o estabelecimento de algumas regras gerais, como é o caso da discutida no presente estudo. Nele temos como preocupação central a utilização da imaginação que mantém coerência com as leis da Física aceitas pela comunidade científica e que, de forma sistemática, serviu para o desenvolvimento e a divulgação do conhecimento científico. Essas criações da mente que apresentam uma estrutura específica são denominadas de “Experimentos de Pensamento” (EPs) (BROWN, 1991).

Sobre a expressão “experimentos de pensamento” e sua variante “experimentos mentais”, o destaque fica por conta do físico alemão Ernst Mach (1838-1916), que adotou e popularizou o termo “*Gedankenexperiment*”, expresso na língua inglesa por “*Thought experiment*”. Entretanto, autores como Kiouranis (2009) mencionam que, anteriormente a Mach, Hans Christian Oersted (1777-1851) já havia utilizado a palavra “*Gedankenexperiment*” com o mesmo significado, mas que foi Mach quem popularizou a expressão e ficou conhecido por empregá-la. Sem se ater à discussão, temos que os EPs foram e ainda têm sido amplamente utilizados na ciência (MACH, 1976). Destacamos que vários cientistas, cujas contribuições têm sido reconhecidamente significativas para a produção do conhecimento na ciência, como Galileu Galilei (1564-1642), Isaac Newton (1643-1727), Michael Faraday (1791-1867), Albert Einstein (1879-1955) e Werner Heisenberg (1901-1976), usaram esses experimentos em seus estudos. Einstein, por exemplo, descreveu o uso de EPs para construir a compreensão de uma série de fenômenos relacionados à Teoria da Relatividade. Tais EPs baseavam-se em uma espécie de simulação mental de sistemas constituídos por objetos idealizados, como ondas de luz, dispositivos de medição e eventos relativísticos. Galileu, por sua vez, serviu-se desses experimentos ao descrever a queda de corpos com diferentes pesos. A análise das linhas de campo por Faraday também pode ser mencionada como exemplo de um Experimento de Pensamento (EP) que contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento da ciência (HELM; GILBERT, 1985).

---

<sup>1</sup> Em razão da natureza híbrida do conteúdo da Introdução, reservo-me a possibilidade de utilizar diferentes pessoas do discurso, de acordo com o que é apresentado: relatos pessoais, relatos sobre as orientações, relatos sobre os estudos, questões teóricas e metodológicas, etc.

Os exemplos mencionados permitem identificar o uso dos EPs no desenvolvimento da ciência ao longo da história, embora, como ressalta Brown (1991), sua definição ainda seja tema de debate na literatura. Nesse sentido, o autor esboça uma descrição “grosseira” para tal, afirmando que o experimentador de pensamento imagina algum tipo de situação e, então, deixa-a correr para ver o que acontece. Essa tentativa de definir um EP, ainda que possa parecer vaga, ilustra, de forma simples, o que se faz ao elaborar não somente um EP, mas qualquer tipo de experimento. Ou seja, analogamente a um experimento concreto<sup>2</sup>, o EP, como descreve Reiner (1998), geralmente satisfaz elementos como: (a) um mundo hipotético; (b) uma hipótese; (c) uma experiência; (d) resultados baseados em experiências passadas, intuições ou derivações lógicas; e (e) uma conclusão baseada em derivações lógicas da evidência e em resultados.

Como se percebe, um EP tem uma estrutura muito semelhante à de um experimento concreto. Porém, essa comparação tem suas limitações, que, por sua vez, podem levar a alguns questionamentos: o mundo hipotético criado pela mente do indivíduo é totalmente criado pela imaginação? Se for totalmente criado pela imaginação, como pode responder a questões relacionadas ao mundo físico? Quais são os critérios de coerência nesse mundo hipotético e como esses critérios se relacionam com o mundo físico? Quais são os processos pelos quais se cria tal mundo e de que elementos esses processos se valem? E em última instância, também se poderia questionar: qual a validade de um EP para o conhecimento e a descrição do mundo físico?

Essas questões estão mais diretamente vinculadas com a definição e a descrição aceitas na literatura acerca dos EPs, como veremos ao longo desse texto. Todavia, a importância da utilização desses experimentos na produção do conhecimento na ciência remete à análise de sua potencialidade como ferramenta didática. Essa possibilidade, além de tomar como referência a presença de tais experimentos na história da ciência, apoia-se na perspectiva, expressa no parágrafo anterior, de que os EPs apresentam uma estrutura semelhante à dos experimentos concreto, cuja validade pedagógica tem sido consagrada, particularmente em se tratando do ensino de Física (MILLAR, 1987; ARRUDA; LABURU, 1998; HOFSTEIN; LUNETTA, 1998).

Os experimentos concretos são amplamente aceitos por pesquisadores, professores e alunos (ARRUDA; LABURU, 1998; ROSA, 2001) e estão consolidados como estratégia de ensino, divergindo em termos de seus objetivos e de sua estrutura organizacional, mas não de sua aceitação pela comunidade escolar. No caso dos EPs, identificamos que sua utilização tem

---

<sup>2</sup> Utilizaremos aqui o termo Experimentos Concretos para aqueles experimentos que são realizados no mundo físico e não somente na mente.



sido pouco explorada didaticamente, aventando-se a possibilidade de que isso esteja relacionado à sua aceitação como ferramenta didática e, não obstante, a estudos que mostrem a sua potencialidade na aprendizagem dos conteúdos específicos em Física.

Essa escassez de estudos associados ao uso de EPs como ferramenta didática foi evidenciada em uma busca realizada entre as pesquisas nacionais e internacionais no campo da Educação em Ciências. No âmbito nacional, tomamos como referência o Banco de Teses e Dissertações (BTD) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), utilizando os seguintes descritores: “Experimentos de pensamento”, “Experimentos mentais”, “*Thought experiments*” e “*Gedankenexperiment*”. Para refinar e delimitar a busca, optamos pelos seguintes filtros: i) Ano: 2007-2017; ii) Grande Área Conhecimento: Ciências Humanas; iii) Áreas do Conhecimento: Educação; Ensino de Ciências e Matemática; Ensino de Física; e iv) Área de Avaliação: Educação; Ensino. Nesse contexto de delimitações, identificamos uma tese de doutorado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Universidade Estadual Paulista (Unesp) – *Campus* de Bauru, que está relacionada diretamente com os propósitos do estudo em desenvolvimento nesta tese.

O estudo, datado de 2009 e de autoria de Neide Maria Michellan Kiouranis, apresenta como título “Experimentos mentais no ensino de ciências: implementação de uma sequência didática”. A tese parte da elaboração de uma sequência didática baseada no experimento mental da dupla fenda, proposto por Thomas Young, e busca promover situações de ensino que alimentem o diálogo e o questionamento sobre os conhecimentos científicos. Tal questionamento se baseia, principalmente, na observação de que os estudantes participantes do estudo demonstravam dificuldades importantes em explicar e debater suas ideias, sobretudo quando estas lhes exigiam o domínio da verbalização de conhecimentos científicos da Física Clássica e Moderna, de maneira significativa, inteligível e dinâmica. Nesse sentido, o trabalho anuncia como principal objetivo o de programar uma sequência didática, por meio de diversificadas alternativas metodológicas, para que os estudantes pudessem comunicar, oralmente e por escrito, os resultados de suas elaborações mentais acerca do experimento da dupla fenda. Dentre os objetivos, também estão o de resgatar e consolidar conceitos da Física Clássica e da Mecânica Quântica e o de apontar possibilidades metodológicas capazes de subsidiar a prática sobre o uso de alternativas didáticas que valorizem o ensino processual, questionador e dialógico.

Em termos metodológicos, o estudo de Kiouranis (2009) consiste em uma pesquisa qualitativa de opção etnometodológica, cuja preocupação central é o estudo dos métodos empregados por membros de um grupo na produção da realidade na vida cotidiana. A estrutura

analítica proposta fundamenta-se em descrever, interpretar e explicar o comportamento de três entidades bastante conhecidas no mundo físico: partículas, ondas e elétrons. Por meio da análise dos dados, a autora pôde perceber uma razoável facilidade na representação analógica e gráfica, porém uma dificuldade significativa quando se trata da escrita. As produções textuais revelam baixo domínio da variedade formal da linguagem científica dos alunos. Também foi possível, segundo a autora, validar o uso do recurso audiovisual, no caso, um filme. E, ainda, é relatado no estudo que foi unânime a confirmação, por parte dos estudantes, de que o uso da animação (software) contribuiu para uma melhor compreensão dos fenômenos estudados.

A identificação desse único estudo junto ao BTB da Capes, que corrobora a pouca relevância recebida pelo tema nas investigações nacionais, levou-nos a proceder a uma busca nos periódicos da Área de Educação, classificados com estrato A1 e A2 (Qualis 2013-2016), delimitando aqueles vinculados à Educação em Ciências e que, em nosso entendimento, apresentam expressividade nesse campo, quais sejam: *Ciência & Educação*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Portuguesa de Educação*, *International Journal of Educational Research*, *Science & Education (dordrecht)*, *International Journal of Science Education*, *Research in Science Education*, *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Electrónica de Investigación Educativa* e *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Optamos por revistas disponíveis *on-line* e delimitamos como período os últimos dez anos (1997-2017). Para essa busca, foram empregados os mesmos descritores citados anteriormente, ou seja, “Experimentos de pensamento”, “Experimentos mentais”, “*Thought experiments*” e “*Gedankenexperiment*”. A busca possibilitou identificar 13 artigos, sendo um nacional e 12 internacionais. Desses estudos, três estavam diretamente relacionados ao objeto de interesse do presente trabalho e serviram de referência para estabelecer o problema de pesquisa.

O estudo de Mirian Reiner, publicado no ano de 1998 no *International Journal of Science Education*, apresenta como título “*Thought experiments and collaborative learning in physics*” (“Experimentos de pensamento e a aprendizagem colaborativa em Física”). A questão central do estudo se relaciona ao modo como os alunos desenvolvem representações baseadas em imagens pessoais e como as representações são compartilhadas quando estes participam de esforços coletivos. Segundo a autora, o problema é especialmente interessante devido à tensão entre: (a) ver a aprendizagem como um processo social em que o significado é representado, negociado e construído em um fórum público; e (b) ver a aprendizagem como um processo pessoal e tácito de experimentação com imagens pessoais difíceis de serem representadas e

comunicadas. Nesse sentido, o principal objetivo da investigação foi examinar a natureza dos processos de aprendizagem que envolvem a comunicação sobre micromundos baseados em imagens construídas pelos estudantes no estudo de conteúdos relacionados à óptica. Para tanto, um grupo de 11 estudantes foi desafiado a projetar um periscópio usando um *software* de simulação computacional.

No que diz respeito aos aspectos metodológicos, Reiner (1998) optou pelo desenvolvimento de uma atividade colaborativa, e os processos de aprendizagem foram analisados em relação à própria estrutura dos EPs, ou seja, se, ao resolver o problema proposto, os estudantes seguiam os passos que constituem um EP. Esses passos que foram citados anteriormente nesse texto, caracterizam-se como: (a) construção de um mundo hipotético, (b) hipóteses, (c) experiências, (d) resultados e (e) conclusões. A análise dos dados coletados traz discussões importantes acerca da utilização dos EPs no âmbito educacional, dentre as quais: potencialidade para a compreensão do fenômeno sem manipulações matemáticas; possibilidade de aprendizagem social quando os alunos conduzem experiências de pensamento; maior facilidade da construção de EPs em ambientes colaborativos; o papel do simulador computadorizado para estabelecer o mundo hipotético, regras, eventos possíveis e experiências; e como apoiar “proposições de verdade” e derivações lógicas.

O segundo estudo selecionado entre os periódicos foi igualmente desenvolvido por Miriam Reiner, porém em coautoria com John Gilbert. Publicado em 2000, sob o título de “*Epistemological resources for thought experimentation in science learning*” (Recursos epistemológicos para experimentação mental na aprendizagem de Ciências), o estudo se dedicou, de forma geral, a identificar se os estudantes elaboram EPs durante o processo de resolução de problemas e evidenciar os tipos de imagens e conhecimentos corporais usados por eles para imaginar um mundo físico. O artigo foi dividido em duas partes: uma teórica e outra empírica. Na parte teórica, os autores buscaram em teorias cognitivas elementos sobre imagens e esquemas de imagens no contexto da aprendizagem em Ciências. A parte empírica baseia-se no resultado da aplicação de um experimento de aprendizado destinado a identificar as imagens utilizadas pelos alunos na construção de EPs num contexto de solução colaborativa de problemas.

Por meio da análise dos dados da pesquisa, Reiner e Gilbert (2000) evidenciam que a imaginação é estruturada e orientada para o objetivo de resolução de problemas. Os autores inferem que as imagens são experienciais e anteriores à tarefa de aprendizagem, sendo consideradas coerentes no processo de resolução dos problemas. Utilizando a imaginação, os alunos podem, por exemplo, girar mentalmente objetos em velocidade constante, “ampliar e

diminuir” para inspecionar situações imaginárias, transferir objetos, prever caminhos de objetos móveis imaginários e imaginar a interação de forças em sistemas mecânicos. Devido a essas possibilidades no uso da imaginação ao realizar EPs, os autores destacam a potencialidade desse tipo de experimento para o âmbito educacional.

O terceiro e último artigo a ser apresentado foi escrito por Athanasios Velentzas e Krystallia Halkia, publicado em 2013 com o título “*The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity*” (O uso de experimentos de pensamento no ensino de Física para alunos do nível secundário: dois exemplos da Teoria da Relatividade). Os autores elegeram como preocupação central analisar em que medida o uso de EPs pode funcionar como ferramenta no ensino de conceitos básicos da Teoria da Relatividade para alunos do ensino secundário, o que equivale ao nosso ensino médio. Para isso, os autores elaboraram dois planos de aula, cada um contendo uma proposta de utilização de um EP que pode ser destinado para o ensino de conceitos referentes à relatividade restrita e geral. O primeiro plano consiste na descrição de uma proposta de utilização do EP do elevador de Einstein para o ensino do princípio da equivalência e suas principais consequências. Além disso, o experimento busca um entendimento do fenômeno da deflexão da luz em campos gravitacionais como consequência desse princípio. O segundo plano de ensino trata do EP do trem de Einstein, cuja proposta é discutir algumas consequências do postulado da constância da velocidade da luz.

De acordo com os autores, os resultados revelam que os EPs, como são apresentados em livros de Física e descritos em obras de divulgação científica, podem constituir uma estratégia de ensino potencialmente significativa para a aprendizagem em Física. Os autores salientam, ainda, que, na forma narrativa como foram apresentados aos estudantes, com pouca ênfase a fórmulas e cálculos, os EPs parecem cruciais para motivar os alunos a seguirem os silogismos relevantes com interesse e se concentrarem nos conceitos fundamentais da teoria. Velentzas e Halkia (2013) ponderam, ainda, que a utilização de EPs como ferramentas didáticas pode auxiliar os estudantes a chegarem mentalmente em situações que excedem consideravelmente sua experiência cotidiana.

As pesquisas relatadas nesta Introdução, ainda que em número reduzido, apontam possibilidades didáticas dos EPs no campo da Educação em Ciências, todavia, revelam-se frágeis em termos de uma análise referente aos processos de aprendizagem, particularmente no que concerne às relações entre as atividades propostas pelos professores e a aprendizagem significativa dos estudantes sobre os conceitos abordados. Em outras palavras, o problema de investigação passa a focar na aprendizagem significativa decorrente da utilização dos EPs como

ferramenta didática. Por aprendizagem significativa entendemos o anunciado por Ausubel, Novak e Hanesian (1983), isto é, um empreendimento humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo do conhecimento. Seguem eles argumentando que, no caso de uma aprendizagem significativa, esse processo está associado à aquisição de um novo conhecimento por meio da relação não arbitrária e substantiva (não literal) com aquilo que já está presente na estrutura cognitiva do sujeito. O conhecimento prévio do educando interage de forma significativa com o novo conhecimento que lhe é apresentado, o que, por consequência, provoca mudanças em sua estrutura cognitiva. Essas mudanças devem ser de tal natureza que, além de modificarem os conhecimentos já existentes, ofereçam conteúdo recuperável em longo prazo, superando a aprendizagem memorística, vinculada a processos mecânicos e reprodutivos. Portanto, a aprendizagem significativa entendida neste estudo é aquela que permite a modificação das estruturas cognitivas dos sujeitos, favorecendo a construção e a recuperação dos conceitos.

A opção de apresentar um estudo voltado a discutir essa forma de aprendizagem como associada aos EPs decorre do entendimento de que ela deve ser a almejada no contexto educacional. Nessa perspectiva, concebemos a educação como possibilidade para entender o mundo em transformação e que oportuniza aos jovens alcançar a realização pessoal, além de desenvolver a capacidade de enfrentar problemas. Sasseron (2010) enfatiza que o ensino de Física deve ser compreendido como uma cultura que contribui para a formação de um cidadão crítico, autônomo, responsável e apto a atuar ativamente na sociedade em que está inserido. Isso em nosso entender passa pela apropriação significativa dos conceitos físicos em contraste com a aprendizagem meramente repetitiva.

Contudo, antes de apresentar a questão central que subsidia o presente estudo, entendemos ser necessário mencionar que sua escolha como objeto de investigação tem origem em questões de interesse pessoal e de vivência profissional. Essas questões estão atreladas às de natureza acadêmica apresentadas, embora possam ser identificadas como anteriores a elas e que, de certa forma, levaram à sua busca. Assim, podemos antecipar que o interesse pessoal e a vivência profissional, somados às lacunas percebidas nas produções científicas na área, subsidiaram o desenvolvimento da pesquisa apresentada neste texto.

Diante disso, julgamos importante apresentar a trajetória da formação e atuação profissional que pode ser considerada desencadeadora da escolha do objeto de estudo, tanto no que diz respeito à sua temática, como aos seus aspectos teóricos. De acordo com Larrosa (2002, p. 21), “a experiência é o que nos passa, o que nos acontece, o que nos toca. Não o que se passa, não o que acontece, ou o que toca”. Logo, as experiências vivenciadas revelam-se momentos

que, ao “me tocarem”, “me transformam” e, ao fazer isso, tocam e transformam a minha formação como professor e pesquisador.

Quando ingressei no curso de licenciatura em Física na Universidade de Passo Fundo (UPF), em 2009, já era aguçado o desejo por estudar Física Moderna, em especial a Teoria da Relatividade e a concepção de tempo nela presente. Aproximadamente na metade do curso, meu trabalho de conclusão já havia sido definido e envolveria um estudo teórico relativo à concepção de tempo a partir da Física Moderna. Seguindo essa linha de pensamento, o trabalho consistiu em uma revisão de literatura sobre o tema em questão, contemplando, em um dos seus capítulos, uma reflexão sobre as principais dificuldades que poderiam ser encontradas ao trabalhar com esse conceito no ensino médio, bem como sobre suas principais contribuições para a formação dos estudantes. Esse estudo se revelou importante tanto sob o ponto de vista da possibilidade de aprofundar meus conhecimentos neste campo como em relação ao desenvolvimento de uma pesquisa, pois se tratava do primeiro estudo envolvendo uma investigação acadêmica.

Ao concluir o curso de graduação em 2012, ingressei no ano seguinte na especialização em Física, finalizada em 2014. Minha área de maior interesse durante esse curso permaneceu no campo da Física Moderna, envolvendo estudos na área das atividades experimentais para o ensino de Física. Para a monografia de conclusão, realizei uma pesquisa, utilizando um questionário, com o intuito de verificar a concepção apresentada por grupos de estudantes em diferentes níveis de escolaridade acerca da grandeza física “tempo”. O resultado do estudo apontou para a necessidade de discutir tal conceito de forma a explorar os diferentes entendimentos, particularmente em relação à Física Moderna, o que subsidiou a elaboração do projeto de mestrado. Esse curso, realizado no período de 2014 a 2016, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM) da UPF, possibilitou, por sua natureza profissional, desenvolver um material textual de apoio a professores do ensino médio, contendo uma sequência didática composta por tópicos referentes à Teoria da Relatividade Restrita (TRR) e à Teoria da Relatividade Geral (TRG)<sup>3</sup>. Esta última, de acordo com a investigação realizada, é pouco explorada pelo livro didático, embora integre as áreas temáticas indicadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. O material, constituído de conteúdo teórico, exercícios e atividades

---

<sup>3</sup> GIACOMELLI, Alisson Cristian; PÉREZ, Carlos Ariel Samudio. *Compreendendo a Teoria da Relatividade*. Passo Fundo: Editora UPF, 2019.

experimentais, foi testado e validado em uma pesquisa envolvendo futuros professores de Física<sup>4</sup>.

Paralelamente à realização do mestrado, iniciei, no ano de 2015, as atividades como professor de ensino superior na UPF, onde ministro, desde então, aulas para o curso de graduação em Física e Engenharias. No curso de Física, sou responsável, entre outras disciplinas, pelas relacionadas à Física Moderna, contemplando tópicos da Relatividade e Mecânica Quântica. Nessas disciplinas, faço uso dos EPs, tendo surgido dessa experiência vivenciada em sala de aula a indagação que subsidia o estudo apresentado neste texto. Nessas atividades, e frente à bagagem de conhecimentos construídos com os estudos anteriores, iniciei no campo empírico questionamentos sobre a potencialidade desses experimentos para a aprendizagem significativa dos conceitos abordados. Os conteúdos contemplados nessas disciplinas remetem a um período histórico em que a utilização desses EPs se mostrou abundante, o que me possibilita discuti-los com os acadêmicos a cada semestre. Todavia, o foco tem estado mais no relato histórico, na forma como eles foram utilizados pelos cientistas na produção e divulgação do conhecimento em Física, facultando sua utilização como meio de aprendizagem dos conceitos. A escolha por recorrer aos EPs nas aulas de Física Moderna, mesmo que na perspectiva histórica, decorre do fato de seus conteúdos envolverem situações distantes da experiência cotidiana humana, como, por exemplo, velocidades relativísticas, escalas subatômicas ou eventos com ausência de gravidade. Nessa perspectiva, ao trabalhar esses conteúdos com os licenciandos em Física, naturalmente os EPs surgiram, e com eles as indagações relacionadas à forma como podem favorecer a aprendizagem significativa.

O contato com esse tipo de experimento, desde a elaboração da dissertação de mestrado, aliado com meus anseios oriundos das experiências vivenciadas em sala de aula, reforçou meu interesse em estudar os EPs. Esses questionamentos, originados de forma ingênua, mas associados a vivências que me permitiram formulá-los, foram paulatinamente se transformando no que Bachelard (1972) denomina de “objeto científico”. Ou seja, o “espaço pensado” em um contexto ingênuo se transformou, pela leitura e pelo estudo, em um “fenômeno representado”, agora permeado por teorias, possibilitando, assim, chegar a um problema de pesquisa de natureza científica.

Tal aprimoramento culminou, no ano de 2016, na elaboração do projeto de pesquisa submetido à linha de Processos Educativos e Linguagem do Programa de Pós-Graduação em

---

<sup>4</sup> GIACOMELLI, Alisson Cristian. *Compreendendo a teoria da relatividade: uma proposta didática para o Ensino Médio*. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

Educação da UPF. Ao ingressar no Programa, encontrei um espaço profícuo para aprimorar meus conhecimentos e delimitar o objeto de investigação – problema de pesquisa. No doutorado, tive a oportunidade de estudar diferentes autores e de participar de produtivas discussões com professores e colegas, constituindo momentos de formação e vivências que possibilitaram avançar na busca por referenciais teóricos e metodológicos para a pesquisa a ser concretizada na tese de doutorado. Nesse contexto, as discussões no Grupo de Pesquisa em Educação Científica e Tecnológica me levaram a identificar na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) a possibilidade de analisar se os EPs contribuem para a aprendizagem significativa dos conceitos em Física, estando nela ancorado o presente estudo. Esses espaços, em suas múltiplas dimensões, auxiliaram em minha constituição como pesquisador e atribuo as reflexões e discussões daí decorrentes como delineamentos que subsidiaram as escolhas realizadas neste estudo.

O apresentado leva a destacar que a problematização do estudo está circunscrita em três perspectivas: (1) os sentimentos e desejos que cercam o objeto de estudo e que foram, ao longo da formação acadêmica, intensificando-se e delineando aprofundamentos no tema mediante leituras e estudos; (2) as experiências vivenciadas na atuação profissional, que levaram à constatação de um problema a ser investigado; e (3) a revisão de literatura, que se revelou insuficiente para responder aos questionamentos decorrentes das observações empíricas associadas à utilização dos EPs. Tais aspectos possibilitaram configurar a questão central do estudo: como os elementos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante a realização de EPs em Física podem ser representativos de indícios de aprendizagem significativa?

Nesse sentido, o objetivo está em analisar as contribuições dos EPs históricos e presentes na evolução das ideias na Física, como material potencialmente significativo para a aprendizagem dos conceitos e fenômenos físicos, junto a professores de Física em formação inicial.

A partir dele, delimitam-se os objetivos específicos, que estão focados em: identificar e relatar o uso dos EPs na história da ciência como ferramenta associada à produção e à divulgação do conhecimento em Física; investigar sobre as possíveis definições acerca dos EPs; selecionar episódios históricos relacionados a esses experimentos que possam ser utilizados como recursos estratégicos no ensino de Física; analisar os possíveis indícios de aprendizagem significativa durante a realização de EPs históricos em Física; efetuar a hierarquização dos significados construídos por professores de Física em formação inicial durante a realização de EPs; e, contribuir com os estudos referente à utilização didática dos EPs.



Para responder ao questionamento proposto e atingir o objetivo anunciado, foi desenvolvido um estudo que agrega os aspectos referentes a uma análise histórica do uso dos EPs na produção do conhecimento científico, com a percepção das potencialidades didáticas associada a esse tipo de experimento. Partindo dessas percepções investigamos empiricamente, o processo de aprendizagem significativa mediante episódios de ensino envolvendo os EPs.

Do ponto de vista metodológico, caracterizamos a pesquisa como de abordagem qualitativa, justificada pela necessidade de analisar processos envolvidos na aprendizagem e não apenas a sua ocorrência, ou seja, os resultados. Em outras palavras, buscamos com esse estudo elementos descritivos, o que corresponde a uma característica de uma investigação qualitativa.

Na sequência da descrição metodológica do estudo, temos o terceiro capítulo que trata do estudo bibliográfico referente aos EPs utilizados por cientistas na produção ou na divulgação do conhecimento científico em Física. Somamos a esses exemplos ilustrativos, a discussão sobre possíveis definições acerca da natureza desse tipo de experimento. No quarto capítulo, dissertamos sobre a TAS, referencial teórico que subsidia a análise das produções elaboradas pelos indivíduos investigados, frente a utilização dos EPs. O quinto capítulo é destinado a descrever o estudo piloto, apresentando os episódios de ensino utilizados, bem como os resultados obtidos nessa etapa preliminar. O sexto capítulo descreve a aplicação definitiva dos episódios de ensino, já com os ajustes e considerações realizadas a partir da análise do estudo piloto e da banca de qualificação. Por fim traz-se as considerações finais destacando as potencialidades e fragilidades da proposta assim como apontamentos para futuros estudos.

## 2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, descrevemos a concepção de pesquisa adotada no presente estudo, sua definição e características principais, bem como os caminhos metodológicos percorridos no estudo. Em outras palavras, o capítulo se ocupa em descrever os fundamentos teóricos da pesquisa qualitativa - abordagem adotada no estudo - e os procedimentos utilizados para a produção e análise dos dados.

### 2.1 Pesquisa qualitativa

A pesquisa desenvolvida neste estudo toma como referencial a abordagem qualitativa, pois em conformidade com os questionamentos do estudo, temos que o foco central está associado a uma análise que precisa valorizar o percurso realizado, interpretando-o de modo a enfatizar o processo e não apenas os resultados obtidos. Nesse entendimento é necessário dar voz aos participantes, proporcionando uma visão integral do fenômeno em suas múltiplas dimensões. O que para Stake (2011, p. 41) significa valorizar na expressividade da população investigada que não há apenas uma forma de manifestar o pensamento, “mas uma enorme coleção de formas: ele é interpretativo, baseado em experiências, situacional e humanístico”.

Esta concepção de pesquisa também é defendida por Yin (2016) ao afirmar que praticamente todo tipo de fenômeno da vida real pode ser um objeto de estudo de uma pesquisa qualitativa. Segundo o autor, o fascínio pela pesquisa qualitativa é de poder-se realizar um estudo aprofundado sobre uma ampla variedade de tópicos, tendo maior liberdade na seleção de temas de interesse.

A pesquisa qualitativa tem sido a mais utilizada no campo educacional e está conectada com aspectos que vão além de dados numéricos, como lembram Bogdan e Biklen (1994). De acordo com esses autores, essa abordagem possui cinco características fundamentais: 1- A fonte direta de coletas de dados é o ambiente natural e o investigador o instrumento principal; 2- É descritiva; 3 - Há um interesse maior pelo processo que pelos resultados ou produtos; 4 - Normalmente, os dados são analisados de forma indutiva; 5- Tem um significado extremamente importante.

Tais características, que segundo Bogdan e Biklen (1994) não precisam estar presentes na íntegra para que a pesquisa seja considerada qualitativa, encontram respaldo nas atividades desenvolvidas nesse estudo. Evidentemente, a fonte direta da produção de dados é o ambiente natural e o investigador se insere como agente no processo, visto que o estudo empírico é

desenvolvido no ambiente de sala de aula. O aspecto descritivo se encontra presente em maior ou menor medida em toda a pesquisa, todavia, destacamos os capítulos onde é realizada uma pesquisa essencialmente descritiva e de cunho bibliográfico. Talvez a única das cinco características que não é tão evidentemente contemplada no presente estudo seja a de número 4 - o caráter indutivo não é dominante, principalmente na análise dos dados do estudo definitivo<sup>5</sup> onde são utilizadas basicamente categorias *a priori*, quando se trata das análises individuais das produções de cada sujeito.

No entender de Moreira (2002) em uma pesquisa qualitativa o interesse central está na interpretação dos significados atribuídos por sujeitos em suas ações associadas a uma realidade socialmente construída. Nesse tipo de pesquisa as hipóteses são geradas ao longo da pesquisa devido a sua natureza interpretativa. Ao longo da descrição do estudo, por meio de uma narrativa detalhada, o pesquisador busca por credibilidade frente aos seus modelos interpretativos.

A pesquisa qualitativa nem sempre teve a sua aceitação plena na comunidade científica, todavia, diferentemente, no âmbito educacional, ela tem ocupado cada vez mais espaço frente às demandas e às qualificações especialmente oportunizadas por seus resultados. Seguem essa tendência as áreas como a Educação, Sociologia, Antropologia, Ciências Políticas, Psicologia, entre outras, as quais têm se servido dessa abordagem como forma de embasamento metodológico. Na área da Educação, na qual se encontra localizado o presente estudo, a pesquisa qualitativa se mostra pertinente, considerando, entre outros aspectos, o fato de que buscamos analisar manifestações de pensamento, por meio de atitudes associadas à produção de significados, o que nos leva a valorizar a interpretação desses dados, ou seja, buscar subsídios em uma abordagem interpretacionista, como é o caso da qualitativa. Assim, tal intuito nos aproxima de uma análise que precisa considerar o percurso estabelecido e não apenas os resultados apresentados, o que corrobora a justificativa anunciada para tal escolha metodológica.

Nesse contexto, o marco teórico-metodológico do estudo foca sua perspectiva na estruturação de uma investigação de abordagem qualitativa e conseqüentemente interpretacionista, recorrendo a diferentes momentos e instrumentos para produção e análise dos dados, os quais subsidiaram a proposta de atividades desenvolvidas e seus respectivos resultados.

---

<sup>5</sup> Por estudo definitivo chamaremos o estudo realizado na sequência do estudo piloto.

## 2.2 Procedimentos metodológicos

A partir do entendimento de pesquisa qualitativa buscamos nessa seção discutir tais aspectos frente ao estudo desenvolvido, de modo a buscar alinhamento entre as escolhas realizadas no estudo tanto em termos metodológicos, como de referencial teórico.

Para responder ao problema de investigação, estruturamos o trabalho em partes, iniciando pela análise dos estudos relacionados e apresentados na introdução desta tese. Esta revisão de estudos desenvolvidos na temática dos EPs e ensino de Física é caracterizada como estudo bibliográfico e possibilitou delimitar o foco de investigação e identificar a carência de estudos no campo, particularmente em relação a sua aproximação com a aprendizagem em Física.

A partir desse primeiro momento, direcionamos o estudo para identificar e relatar o uso dos EPs na história da ciência enquanto ferramenta associada à produção e à divulgação do conhecimento em Física, bem como buscamos investigar as possíveis definições acerca dos EPs. Para tanto, recorreremos a um estudo bibliográfico descritivo, utilizando como ferramenta, referenciais que possibilitassem subsidiar as discussões pretendidas. O capítulo três se ocupa de apresentar os resultados dessa investigação.

A partir desses momentos teóricos, somados a construção do referencial teórico do estudo, partimos para a seleção dos EPs que constituiriam o estudo empírico na sua versão estudo piloto. Esses primeiros passos caracterizaram-se como a operacionalização de episódios de EPs com estudantes universitários, com objetivo de investigar *in loco* a proposta do estudo e verificar a forma como os resultados poderiam se revelar ao longo dos episódios. Na continuidade do estudo piloto e após sua análise, procedemos a ajustes pertinentes aos resultados de modo a oportunizar a aplicação dos episódios na forma de estudo definitivo, os quais juntamente com as evidências sistematizadas por meio do estudo piloto serviram de referência para a produção e análise dos dados a que essa tese se ocupa de apresentar.

Em síntese, os procedimentos metodológicos iniciam pela revisão de literatura, passando pela discussão e identificação de episódios históricos associados aos EPs na produção do conhecimento em Física e pela estruturação/seleção de episódios para serem contemplados na operacionalização do estudo com estudantes de Física em formação inicial, tanto na versão estudo piloto como na definitiva. Portanto, o estudo caracteriza-se por uma etapa vinculada a estudos bibliográficos e outra a estudos empíricos, cujo intuito está em verificar indícios de aprendizagem significativa associada a realização dos EPs por parte dos estudantes. Os estudos

empíricos são considerados o foco principal do presente estudo e sob os quais recai as discussões dessa seção na sua continuidade.

### *2.2.1 Método para produção dos dados*

A pesquisa qualitativa favorece diferentes procedimentos para produção de dados, mas em todas elas os dados são elementos fundamentais do estudo como um todo. Em uma pesquisa qualitativa a definição do termo “dados” diverge substancialmente em relação a outros tipos de pesquisa. Em uma pesquisa não qualitativa, o papel do pesquisador pode se restringir a fazer uma leitura de um instrumento de medida para coletar dados. Porém, em uma pesquisa qualitativa, o pesquisador se insere como agente da pesquisa. Nesse sentido, mesmo que os eventos a serem medidos sejam externos ao pesquisador, o que este relata passa por um filtro, correspondente ao significado imputado por ele durante a atividade investigativa (YIN, 2016).

Neste estudo foram produzidos dados junto a dois grupos de estudantes em dois momentos distintos: estudo piloto e estudo definitivo. Inicialmente no segundo semestre de 2018 foi aplicado o estudo piloto juntamente a quatro estudantes de diferentes níveis de um curso de licenciatura em Física. O principal objetivo desse estudo piloto foi de evidenciar possíveis potencialidades e fragilidades na proposta de utilização dos episódios de ensino envolvendo os EPs. Na ocasião foram desenvolvidos dois EPs distribuídos em dois encontros semanais em horários extraclasse.

No segundo semestre de 2019, após a realização do exame de qualificação da presente tese, foi novamente realizada a aplicação de EPs, agora distintos dos utilizados no estudo piloto e realizados em condições reais de sala de aula. Nessa nova etapa do trabalho – estudo definitivo, realizamos dois EPs em cada uma das duas turmas envolvidas, totalizando uma população de dez estudantes - nenhum havia participado do estudo piloto. Os componentes curriculares nos quais foram realizados os EPs estavam localizados em diferentes níveis do mesmo curso de licenciatura em que foi desenvolvido o estudo piloto.

Em ambos os momentos de desenvolvimento do estudo empírico (piloto e definitivo) foram produzidos basicamente dois tipos de dados, os materiais escritos elaborados pelos estudantes e as videograções realizadas no ambiente investigado. Os materiais escritos se constituem basicamente da resolução de situações-problemas propostas pelo pesquisador, que deveriam, conforme orientações prévias, conter maior número de informações possíveis tais como, textos, equações, elementos gráficos, entre outros. Os dados referentes as videograções

tiveram como objetivo trazer mais elementos para as possíveis inferências a serem feitas a partir dos materiais escritos produzidos pela população da pesquisa.

Em um momento anterior ao desenvolvimento dos EPs, tanto na etapa piloto como no estudo definitivo, foi realizado um teste, que denominamos de “teste inicial”. O principal objetivo desse teste foi de evidenciar os conhecimentos prévios dos estudantes. A identificação desses conhecimentos prévios é, segundo o referencial teórico que subsidia o presente estudo, o principal elemento a ser levado em consideração ao se planejar uma proposta de ensino que vise a aprendizagem significativa.

### *2.2.2 Procedimento para análise dos dados da pesquisa*

Houve ao longo do desenvolvimento dos estudos piloto e definitivo, modificações nos procedimentos de análise dos dados. Isso ocorreu principalmente pelo fato de que foram identificadas algumas fragilidades no estudo piloto, que nos levaram a refinar os procedimentos de análise dos dados para o segundo momento da pesquisa - estudo definitivo. Refinamento este que será relatado no capítulo destinado a descrição do estudo piloto.

No estudo piloto foram evidenciados e elencados os conceitos, princípios e proposições construídos pelos estudantes durante a realização dos EPs. Esses conceitos, princípios e proposições foram dispostos em tabelas para melhor visualização e discutidos em termos de seus significados e suas relações com as correspondentes leis físicas. A principal fragilidade identificada nesse procedimento esteve relacionada a análise dos dados, particularmente a forma como esses dados produzidos durante os dois episódios dos EPs estavam possibilitando responder ao questionamento do estudo. Disso resultou a necessidade de alterar a forma como estávamos procedendo a análise dos dados.

O método de análise dos dados utilizado para o teste inicial no estudo piloto foi mantido no estudo definitivo, todavia, foi refinado o método utilizado na análise dos dados produzidos pelos estudantes durante os episódios de ensino. Para a análise dos materiais escritos produzidos pelos estudantes durante os EPs recorreremos ao processo de categorização. De acordo com Moraes e Galiuzzi (2011, p. 75) tal processo “corresponde a simplificações, reduções e sínteses de informações da pesquisa, concretizadas por comparação e diferenciação de elementos unitários, resultando em formação de conjuntos de elementos que possuem algo em comum”.

Realizamos a análise dos materiais escritos individualmente para cada estudante e optamos por apresentar inicialmente uma transcrição comentada dos dados produzidos e, na sequência, realizar a hierarquização desses dados de acordo com as características sugeridas

pelo Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Dessa forma, os dados foram dispostos em tabelas de acordo com a compreensão de aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória<sup>6</sup>. Nesse sentido, podemos dizer que para a análise individual das produções escritas dos estudantes foram utilizadas categorias *a priori*, dadas pela TAS. Essa forma de dispor os dados permitiu uma maior interlocução entre os dados e o referencial teórico adotado para o estudo. Ainda com relação aos episódios do estudo definitivo, esclarecemos que as videograções foram utilizadas para capturar os diálogos durante as discussões coletivas. Nesse sentido, esses dados foram discutidos ao longo de um texto, mas não foi realizada uma hierarquização como no caso dos dados referentes aos materiais escritos. Julgamos mais pertinente utilizar a hierarquização somente para os dados referentes as produções individuais de cada sujeito, relegando as discussões coletivas uma discussão mais aberta, porém a partir da mesma perspectiva teórica.

Ao longo da análise das produções dos estudantes foi possível identificar a utilização de significados similares em muitos casos. Para tanto, foi realizada para cada um dos dois grupos de estudantes participantes do estudo definitivo, uma compilação dos significados recorrentes. Essa compilação foi apresentada e discutida separadamente para cada grupo no item de discussão dos resultados. Nesse sentido, foram criadas categorias que se estruturaram por meio das inter-relações das unidades de significado construídas com base na análise dos dados, esse tipo de categorização Moraes e Galiazzi (2011) classificam como “categorias emergentes”.

A partir da apresentação dos referenciais metodológicos e da estruturação do processo de análise dos dados empíricos produzidos pelos estudantes no estudo piloto e no estudo definitivo, nos ocupamos de discutir dois aspectos basilares da tese e que antecedem a apresentação e discussão dos dados: os EPs e a TAS. Tais aspectos são constituintes dos dois próximos capítulos, os quais buscaram, no caso dos EPs, apresentar uma exemplificação de como eles foram utilizados na produção e divulgação da ciência, assim como evidenciar possíveis interpretações epistemológicas para seu entendimento; e, no caso da TAS, realizar uma incursão nos principais tópicos constituintes dessa perspectiva teórica de aprendizagem.

---

<sup>6</sup> A definição de aprendizagem subordinada, superordenada e combinatória será apresentada no capítulo 4 que corresponde ao referencial teórico desse estudo.

### **3 EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO**

Uma incursão pela história da ciência possibilita evidenciar que os EPs foram utilizados, tanto na formulação dos conhecimentos científicos, como na sua divulgação. A partir dessa identificação, o presente capítulo se ocupa de buscar elementos para uma possível definição, classificação e entendimento acerca dos EPs, considerando que tais aspectos não são consensuais na literatura, mas que mantém um núcleo coeso sob o qual se pode apoiar os estudos neste campo. Na sequência são descritos episódios desses experimentos no contexto da produção e divulgação do conhecimento em Física, recorrendo a história da ciência.

#### **3.1 Experimentos de pensamento: possíveis definições e classificações**

Definir com precisão o que seria um EP pode se mostrar uma tarefa bastante árdua, porém o que buscamos nesse texto não é uma única e precisa definição, mas possíveis definições, precisas ou não, que contribuam para o entendimento dos principais mecanismos envolvidos neste tipo de experimento. Esse entendimento, por sua vez, pode trazer à tona uma melhor compreensão sobre o papel dos EPs na história da ciência, podendo se mostrar um importante elemento a ser levado em consideração no âmbito educacional.

Um Experimento Concreto (EC), tem a potencialidade de levantar um problema, testar uma hipótese, ou até mesmo fornecer dados ou informações relevantes para a formulação de teorias físicas. Um EC possui características que estão diretamente relacionadas a sua aceitação como fonte de conhecimento na comunidade científica. Tais características de cunho estrutural e epistemológico diferenciam um EC de uma simples sequência de procedimentos práticos desprovidos de formalidade científica. Partindo do mesmo raciocínio, um EP também precisa possuir algumas características de cunho estrutural e epistemológico para ser considerado científico, diferenciando-o de um simples ato de imaginar algum fenômeno sem nenhuma formalidade científica. Ou seja, para um EP ser considerado como tal, e por consequência possuir a potencialidade de construção e divulgação do conhecimento científico, ele precisa obedecer minimamente a algumas premissas básicas. Premissas estas que serão discutidas ao longo do texto.

Essas considerações preliminares possibilitam a elaboração de questionamentos que orientam esta seção: O que é um EP? Qual sua estrutura básica? Quais as características que o tornam distinto ou semelhante a um EC?



O uso dos EPs na Física se destaca principalmente a partir do renascimento em meados do século XVII, e os primeiros e mais significativos EPs desse período remetem a Galileu em sua obra “*Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*” - que serão discutidos na próxima seção deste capítulo. No entanto, os estudos que se dedicam a compreensão de sua estrutura lógica e epistemológica são mais recentes e remetem ao final do século XIX e início do século XX, tendo como referencial os trabalhos de James Robert Brown, Roy A. Sorensen, Thomas S. Kuhn e John D. Norton. Estes são os autores nos quais o presente estudo se fundamenta na busca por evidências que auxiliem nas discussões da problemática apresentada.

Sorensen (1992), afirma que um EP consiste em uma forma de raciocínio que visa levantar problemas e convencer os outros sem se envolver com experimentação concreta. Na maioria dos casos envolvendo EPs típicos, toda a construção do mundo hipotético é realizada de forma autônoma na mente do sujeito, sem estar relacionada, ou até mesmo condicionada a arranjos físicos concretos. Para o autor, nessa consideração reside uma das principais potencialidades da realização dos EPs, que consiste no fato destes não estarem limitados pela viabilidade de arranjos concretos.

Em alguns casos particulares existe uma impossibilidade em realizar experimentos de forma concreta, isso ocorre principalmente em casos onde se abordam situações muito complexas, ou em condições extremas<sup>7</sup>. Por exemplo, eventos que ocorrem no mundo submicroscópico, em escala cosmológica, ou em velocidades próximas a da luz. Nesse sentido, os EPs se mostram uma ferramenta em potencial, pois são realizados pela imaginação, o que pode minimizar, ou até mesmo eliminar, alguns dos limites impostos no que diz respeito a realização do mesmo experimento de forma concreta.

Porém, algumas pesquisas apontam que mesmo na imaginação existem limites e dificuldades na realização de um experimento, ou seja, os objetos imaginados são processados pela mente de forma similar aos objetos percebidos fisicamente (FINKE; SHEPARD, 1986). Por exemplo, se você imaginar em um EP uma engrenagem girando, a forma como isso irá ocorrer na imaginação é muito similar à forma como o fenômeno é percebido fisicamente. Nesse sentido, algumas dificuldades e limites impressos na realização de um EP, de certa forma, são similares aos de um EC, porém a dificuldade se encontra na capacidade de imaginação e manipulação das imagens na mente do indivíduo, e não na montagem e operacionalização de arranjos físicos, como em um EC.

---

<sup>7</sup> Entendemos aqui por condições extremas aquelas em escala muito pequena, muito grande ou em velocidades relativísticas.

Por exemplo, se for solicitado a um estudante que inspecione um conjunto de equipamentos em um laboratório físico, o tempo que ele levará para realizar a tarefa será tão mais longo quanto maior for o número de equipamentos e de detalhes contidos neles. De maneira similar, o tempo necessário para completar uma síntese mental aumenta à medida que aumenta o número de partes envolvidas (GLUSHKO; COOPER, 1978).

Outra propriedade que é similar entre um EP e um EC, reside no fato de que ambos seguem basicamente a seguinte lógica: consideram uma situação controlada ou idealizada, o observador analisa um determinado panorama, criam-se hipóteses e se compara elas com os resultados. Nesse sentido, para ser considerado um EP, a atividade imaginativa deve obedecer minimamente a essas premissas básicas, que também, no geral, podem ser atribuídas a um EC. Porém, se existem essas similaridades entre esses dois tipos de experimentos, porque em alguns momentos se opta por realizar um ou outro? O que diferencia um tipo de experimento de outro?

Essas indagações remetem a necessidade de outras definições. Segundo Brown (1986), uma situação que caracteriza um EP pode ser de dois tipos. O primeiro é uma situação “meramente imaginária”, ou seja, um experimento que poderia ter sido realizado de forma concreta, porém, por várias razões, é executada somente no pensamento. Entre essas razões podemos destacar, por exemplo, a necessidade de se desprezar algumas variáveis ou simplificar a situação, o que por sua vez, em muitos casos, pode ser realizado de forma mais efetiva e simples por meio de um EP do que em um EC. Um exemplo que ilustra bem esse fato é o EP utilizado por Galileu para discutir a influência da massa na queda dos corpos, ou seja, o experimento poderia ser realizado de forma concreta, porém existiria um número muito grande de variáveis a serem consideradas, o que tornaria o experimento mais complexo. Nesse sentido, o experimento conduzido de forma imaginária se mostrou muito mais eficiente, tanto no quesito de lidar com a situação, como de convencer os outros sobre a validade das alegações nele contidas.

Segundo o autor, outro tipo de EP remete a situação “verdadeiramente imaginada”. Essa é uma situação que não poderia sob qualquer circunstância ser realizada em um laboratório físico. Geralmente esse tipo de EP está relacionado a situações muito complexas ou em condições extremas. Um exemplo desse tipo é o EP de Einstein sobre a perseguição de uma onda de luz – este EP será discutido em mais detalhes no próximo item deste capítulo.

Em alguns casos esse tipo de EP é verdadeiramente imaginado em uma determinada época somente, pois com o avanço da tecnologia, passado algum tempo, ele se torna realizável de forma concreta. Um exemplo desse tipo trata-se de uma das consequências da TRR, no caso o fenômeno da dilatação temporal. Na época da formulação da teoria não era possível realizar

experiências com velocidades suficientemente grandes para que o fenômeno fosse mensurável. Nesse sentido, para ilustrar a situação foram sugeridos alguns EPs, o mais famoso deles provavelmente é o do paradoxo dos gêmeos<sup>8</sup>. Porém, alguns anos mais tarde, com o avanço da tecnologia tornou-se possível demonstrar de forma concreta o fenômeno da dilatação temporal. Um desses experimentos foi realizado por iniciativa do físico norte-americano J. C. Hafele em 1971, ou seja, 66 anos após a publicação das primeiras contribuições de Einstein para a TRR. No procedimento foram colocados quatro relógios atômicos a bordo de um avião, que realizou duas viagens ao redor da Terra, uma vez para o leste e outra para o oeste, para que fosse compensado o movimento de rotação do planeta. Posteriormente, os relógios foram comparados com outros quatro que estavam sincronizados no momento da partida e permaneceram no solo. Os desvios observados foram de 270 milionésimos de segundo e coincidiram de forma suficientemente precisa com as previsões da teoria da relatividade (MOURÃO, 1997). Não se trata exatamente do EP do paradoxo dos gêmeos, mas pode ser considerado, certamente, como uma situação suficientemente análoga com as devidas aproximações.

Reiner (1998) traz a ideia de que quando se realiza um EP, todos os “objetos” envolvidos são constituídos de imagens, o que é bastante evidente visto que ele é realizado pela imaginação. Essas imagens podem ser dinâmicas ou não, dependendo do experimento a ser realizado. Nesse apontamento surge uma pergunta: Qual é a natureza dessas imagens? Elas são produzidas exclusivamente pela mente ou são oriundas de memórias relacionadas a situações concretas vivenciadas anteriormente pelo sujeito?

Ao se questionar a esse respeito, Reiner (1998), traz uma classificação para as imagens utilizadas em um EP. Para a autora as imagens podem ser de dois tipos: visual-pictóricas ou corporais. As imagens visuais-pictóricas são criadas a partir de uma situação animada pela mente do sujeito. Os elementos envolvidos nessa criação não foram vivenciados anteriormente em nenhuma situação real e, muitas vezes, isso nem seria possível. O experimento da perseguição do raio de luz proposto por Einstein é um exemplo de EP que exige a evocação de imagens desse tipo.

As imagens corporais estão relacionadas a experiências concretas vivenciadas pelo sujeito e que, por sua vez, exigiram ou desenvolveram habilidades motoras. Por exemplo, um jogo de futebol pode fornecer a imagem necessária para a construção de um EP utilizado para o estudo de lançamento de projéteis (REINER, 1998).

---

<sup>8</sup> O EP do “Paradoxo dos Gêmeos” consiste em um homem que realiza uma viagem no espaço numa nave em grande velocidade e volta para casa mais novo que seu irmão gêmeo que ficou em Terra, movendo-se a velocidades cotidianas.

McAllister (1996), parte da ideia de que os EPs se constituem de experimentos similares aos ECs e, portanto, devem obedecer a regras semelhantes. O autor argumenta que para um EC ser aceito na comunidade científica ele precisa cumprir alguns quesitos básicos. Os mais operacionais estão relacionados aos padrões aceitos na prática experimental, calibração de instrumentos, controle de fatores estranhos e assim por diante. Porém, mais fundamentalmente, o experimento precisa fornecer evidências que auxiliem na resolução de controvérsias na ciência, quando isso ocorre o experimento possui legitimidade no meio científico. Com base em suas ideias, um EP precisa cumprir com regras semelhantes, ou seja, precisa ser bem formulado e conduzido para que se seja possível convencer os outros sobre sua legitimidade. E mais fundamentalmente precisa resultar em uma fonte de evidência relevante para estabelecer ou desacreditar reivindicações.

Mach (1972) traz uma visão crítica acerca da possibilidade de construir conhecimento científico exclusivamente por meio dos EPs, e pondera que é somente quando se tem uma rica experiência no sentido sensorial concreto que a imaginação pode ser eficiente. O autor argumenta que é a natureza da experiência adquirida anteriormente que faz o sucesso na realização de um EP. Partindo desse pressuposto, o autor destaca que na verdade o indivíduo não cria mentalmente as representações utilizadas na experimentação mental, mas se utiliza de imagens adquiridas por experiências concretas vivenciadas anteriormente.

Em seu trabalho "*A function for Thought Experiments*", Kuhn (1977) argumenta que os EPs podem se mostrar como ferramentas poderosas na formulação das leis fundamentais da natureza. Porém, o autor levanta questões semelhantes às de Mach acerca do fato de que os EPs não se constituem necessariamente como fontes exclusivas de novos conhecimentos científicos. Segundo ele, a situação imaginada por meio de um EP não pode ser integralmente estranha a mente do cientista, ou seja, o conhecimento não poderia ser produzido exclusivamente por meio da imaginação. Nesse sentido, ele chega à conclusão de que de fato os EPs não poderiam conduzir a uma compreensão da natureza propriamente dita, mas sim do aparato conceitual do cientista. Partindo dessas considerações, o autor argumenta que os EPs atuam no sentido da eliminação de contradições e inconsistências existentes na situação inicialmente imaginada, que por sua vez é baseada no aparato conceitual do cientista que conduz o EP. Essas constatações o levam a consideração de que os EPs não criam novos conhecimentos sobre o mundo físico, e sim promovem a recontextualização de conhecimentos e dados já existentes na mente do cientista.

Seguindo na mesma linha de raciocínio, Norton (1991) traz uma interpretação empirista acerca dos EPs, e segundo Brown (1991), a sua concepção faz justiça a uma ampla gama de

EPs, especialmente aqueles que o autor chama de destrutivos e construtivos mediáticos, o que será discutido mais adiante. A ideia básica de Norton é que os EPs são apenas argumentos; são derivações de premissas determinadas que empregam elementos pitorescos. É de fundamental importância na interpretação de Norton, que as premissas introduzidas no argumento sejam estabelecidas de forma aceitável para um empirista. Assim sendo o desenvolvimento e a conclusão precisa obedecer aos critérios do empirismo.

O autor defende a ideia de que EPs são constituídos de argumentos que obedecem basicamente a duas condições fundamentais: (i) postulam um estado de coisas, hipotético ou contra factual; e (ii) invocam detalhes irrelevantes à generalidade da conclusão. Norton (2004), também propõe que EPs podem ser entendidos como simples argumentação, mas que se apresentam em forma de narrativas ou situações pictóricas. Nesse sentido, o autor defende que o conhecimento proporcionado pelos EPs depende das premissas neles introduzidas. Sendo assim, a medida que se modificam as premissas podemos modificar o resultado final. O autor aponta que esta particularidade dos EPs pode se mostrar bastante perigosa, pois pode conduzir tanto a conclusões verdadeiras, cientificamente falando, ou equivocadas, dependendo das premissas introduzidas na sua realização.

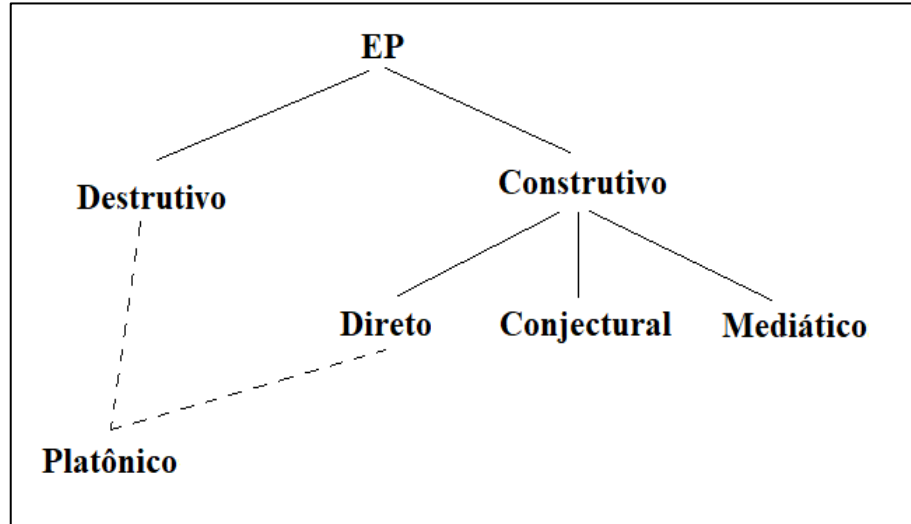
Para elucidar a falibilidade dos EPs o autor afirma a possibilidade de existência de pares dos mesmos, que ele chama de experimento de pensamento e anti-pensamento. Ou seja, segundo o autor, de acordo com as premissas introduzidas na realização do EP, este pode dar um resultado oposto ao “correto” cientificamente. Por exemplo, um EP pode mostrar um mundo finito, ou não, um espaço plano ou curvo e assim por diante, dependendo das premissas introduzidas.

Em contrapartida aos críticos dos EPs como fonte de conhecimento científico, Brown (1986) defende que eles podem sim ser uma fonte exclusiva de conhecimento científico. Segundo Brown (1986), a maior dificuldade na realização de um EP, baseia-se no estabelecimento (na imaginação) de um fenômeno. Uma vez que o fenômeno é estabelecido, a inferência de uma teoria não apresenta grandes dificuldades, ou seja, o salto do experimento e das informações dele oriundas para a teoria é relativamente pequeno. Nesse sentido, o autor defende a tese de que os elementos constituintes e a forma como é realizado o EP, se este for conduzido de forma correta, já praticamente permitem que se acesse a teoria.

Brown (1991), em seu livro *“The Laboratory of the Mind”* sugere uma taxonomia para os EPs. Segundo o autor, inicialmente os EPs se dividem em dois tipos gerais, chamados de destrutivo e construtivo, respectivamente. Ainda, podemos dividir aqueles que se classificam como construtivos em três tipos adicionais: diretos, conjecturais e mediáticos. Segundo a

classificação do autor há ainda uma classe restrita de EPs particulares que são simultaneamente destrutivos e construtivos. A esses EPs, que segundo o autor são verdadeiramente notáveis, ele dá o nome de platônicos (Figura 1).

Figura 1 - Classificação taxonômica.



Fonte: Brown, 1991, p. 34 – tradução nossa.

Brown traz ainda considerações e justificativas para a sua classificação. Os EPs destrutivos, como o nome sugere, são dirigidos contra uma determinada teoria ou hipótese. Ele destrói ou, pelo menos, apresenta sérios problemas para uma teoria, geralmente, apontando uma lacuna em seu quadro geral. Esse problema pode estar relacionado a própria teoria ou em sua incompatibilidade com outras teorias bem estabelecidas no meio científico. Esses apontamentos sugerem que se destaquem duas classes de EPs destrutivos, aqueles que mostram uma teoria inconsistente internamente e aqueles que mostram uma teoria em conflito com outras crenças bem estabelecidas. Por exemplo, o EP de Einstein sobre a perseguição de um feixe de luz mostrou um problema entre a Teoria Eletromagnética proposta por James Clerk Maxwell (1831-1879) para a luz e a Mecânica Clássica. Já o famoso EP do “Gato de Schrödinger”, proposto por Erwin Schrödinger em 1935, não mostrou que a Mecânica Quântica é logicamente falsa, mas sim que algumas de suas ideias podem parecer extremamente contraditórias quando aplicadas a situações macroscópicas. O EP sobre a queda dos corpos de Galileu mostrou que a Teoria do Movimento de Aristóteles era logicamente impossível, pois conduziu à contraditória conclusão de que um corpo com peso maior tem maior velocidade de queda, porém quando se acopla nele, outro de massa menor sua velocidade é reduzida e vice e versa (BROWN, 1991).

Os EPs do tipo construtivos, como o nome sugere, estão relacionados a aqueles experimentos responsáveis pela construção do conhecimento, formulando teorias, testando

hipóteses, ou corroborando teorias já existentes. Essa categoria é subdividida pelo autor em três: mediáticos, conjecturais e diretos, as quais serão discutidas as suas principais características separadamente.

No que diz respeito aos EPs construtivos mediáticos, o autor afirma que estes são na verdade facilitadores para se chegar a uma conclusão baseada em uma teoria científica específica e bem articulada. Por exemplo, o EP mediático pode ilustrar algum aspecto contraditório da teoria auxiliando para que esta se torne mais aceitável, ou ainda, pode simplesmente auxiliar no raciocínio e nas derivações lógicas necessárias para que se possa alcançar o resultado mais facilmente. Um exemplo desse tipo é o EP do “Demônio de Maxwell”, o qual atua como mediador na construção de uma teoria estatística para os gases ideais. De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica determinista, a entropia deve permanecer igual ou aumentar, ou seja, ela nunca pode diminuir. Porém, em uma teoria estatística o que acontece é que a afirmação deve mudar sutilmente, ou seja, deve existir uma probabilidade, muito pequena, da entropia diminuir. A ideia fundamental é que o demônio age no sentido de fazer com que a possível diminuição da entropia não pareça tão absurda (BROWN, 1991).

Um EP do tipo construtivo mediático, se embasa em uma determinada teoria de fundo bem definida e o experimento atua no sentido de auxiliar na obtenção de uma nova conclusão. Porém, os EPs chamados pelo autor de conjecturais não se embasam em uma teoria bem definida. O ponto fundamental de tais experimentos de pensamento é estabelecer um determinado fenômeno, aí, então, se utiliza uma hipótese para explicá-lo, conjecturando acerca do fenômeno, da hipótese, e conseqüentemente da teoria que a sustenta. Um exemplo que ilustra muito bem esse tipo de EP é o do “Balde de Newton”, proposto por Isaac Newton para discutir a Teoria do Espaço Absoluto (BROWN, 1991).

O último tipo de EP construtivo definido por Brown (1991) é o que ele denomina de “direto”. Esse tipo de experimento inicia com um problema, ou seja, de forma parecida com os EPs mediáticos, porém o que difere essa classe de EP, ao contrário da primeira, é que não se parte com uma teoria bem definida, e sim se termina nela. A propriedade citada se assemelha muito aos EPs conjecturais, porém com a seguinte divergência: um EP direto é formulado a partir de um problema e a resolução deste desencadeará na teoria; em um EP conjectural o problema se estabelece a partir da formulação do experimento. O experimento do elevador de Einstein, utilizado para formular alguns fenômenos relacionados a teoria da relatividade geral, é um ótimo exemplo de EP direto (BROWN, 1991).

Por fim, o autor chama a atenção para um tipo particular de EP, que pode ser simultaneamente construtivo e destrutivo. A esse tipo especial de EP Brown denomina de “platônico”. O autor dedica em seu livro “O laboratório da mente” um capítulo inteiro para reivindicar a existência de tais experimentos de pensamento. No entendimento do autor:

Um experimento de pensamento platônico trata-se de um único experimento de pensamento que destrói uma teoria antiga ou existente e simultaneamente gera uma nova; é *prioritária* na medida em que não se baseia em novas evidências empíricas, nem é meramente derivada de dados antigos; e é um avanço em que a teoria resultante é melhor do que a teoria predecessora (BROWN, 1991, p. 76).

O nome platônico está relacionado a ideia de que esse tipo de EP poderia acessar o conhecimento sobre as leis da natureza *a priori*. Essa constatação reside no fato de que, como afirmado pelo próprio autor, esse tipo de EP não se baseia em evidências empíricas e nem é resultado de uma derivação de dados antigos.

No sentido de levantar argumentos para reivindicar a existência dos EPs do tipo platônicos, Brown (1991) destaca que se podemos “ver” alguns objetos matemáticos que são na verdade entidades abstratas. Então supondo que as leis da Física se tratam de uma relação entre entidades universais abstratas que, por sua vez, podem ser “vistas”, então porque não esperar que se possa “ver” as leis gerais da natureza por meio de um EP?

A possibilidade de existência desse tipo de experimento foi alvo de muitas críticas por parte de seus opositores, principalmente os empiristas, como, por exemplo, John Norton. Este se opõe a existência dos EPs do tipo platônicos no próprio fundamento de sua interpretação acerca desse tipo de experimento. Ou seja, ele defende que os EPs são apenas argumentos disfarçados de imagens e elementos pitorescos, o que a princípio descarta a ideia de que esses experimentos poderiam acessar *a priori* o conhecimento sobre as leis da natureza.

Embora o entendimento do que são os EPs possa apresentar divergências, sua contribuição é inegável para a história da Ciência. A incursão realizada nesta seção possibilita perceber as potencialidades no uso dos EPs no meio científico, assim como a identificação das percepções acerca de tais experimentos pelos autores de referência utilizados. Destacamos que os elementos aqui levantados subsidiaram as escolhas e a estruturação dos EPs a serem utilizados no âmbito da pesquisa empírica realizada nesta tese e que será descrita nos capítulos 5 e 6.



### 3.2 Exemplos de experimentos de pensamento na evolução das ideias da Física

O conhecimento científico sobre as leis da natureza é constantemente modificado com o avanço da sociedade. Mudanças no entendimento do ser humano acerca do Universo ocorrem desde as épocas mais remotas. De acordo com a concepção epistemológica de Kuhn (1970) essa evolução se dá por meio daquilo que ele chama de “Revoluções Científicas”. De acordo com o autor, uma revolução científica se constitui na substituição de um paradigma<sup>9</sup> vigente no meio científico por outro. Um exemplo bastante conhecido é a chamada “Revolução Copernicana”. Antes da época de Copérnico, Galileu e, posteriormente, Newton, o paradigma dominante era o geocêntrico, ou seja, aquele modelo que colocava a Terra no centro do Universo. Porém, em determinado momento (meados do século XVII) percebeu-se que um modelo com o Sol no centro (heliocêntrico) superava o modelo anterior, portanto, ocorreu uma mudança de paradigma, substituindo-se o paradigma geocêntrico pelo heliocêntrico.

Segundo Kuhn (1970), um paradigma, quando estabelecido e aceito na comunidade científica, gera o que ele denomina e “Ciência Normal”. A ciência normal pode ser entendida como a sustentação de um paradigma já estabelecido. Todavia, ela não é algo definitivo, muito pelo contrário, a ideia central da teoria de Kuhn é a de quebra de paradigma. Ou seja, segundo ele a ciência progride quando ocorre uma crise no âmbito da ciência normal e um paradigma precisa ser substituído por outro, dando origem ao processo de “Revolução Científica”.

Nesse sentido, podemos indagar qual seria o papel dos EPs nas revoluções científicas de acordo com a concepção de Thomas Kuhn. Kuhn (1977), traz algumas considerações sobre as contribuições desse tipo de experimentos nas mudanças de paradigma.

Uma crise induzida pelo fracasso da expectativa, e seguida pela revolução, está no coração das situações experimentais de pensamento que temos examinado. Por outro lado, o experimento de pensamento é uma das ferramentas analíticas essenciais que são desdobradas durante a crise e que, em seguida, ajudam a promover a reforma conceitual básica (KUHN, 1977, p. 263).

Segue o autor trazendo à tona a ideia de que um EP levanta questões que fazem o cientista confrontar elementos relacionados a sua forma de pensar. Por meio desse confronto de ideias o cientista é levado a reconhecer contradições existentes em sua forma de interpretar algum fenômeno. Nesse sentido, o autor afirma que em muitos casos, conceitos claros foram desenvolvidos para substituir outros confusos que estavam em uso anteriormente.

---

<sup>9</sup> Está fora do escopo do presente estudo um aprofundamento na concepção kuhniana de paradigma, digamos superficialmente que se tratam de realizações científicas universalmente aceitas durante algum tempo.

Seria ingenuidade pensar que a ciência surgiu apenas no século XVII do atual calendário. No entanto, esse período marcou significativamente a maneira como se entendiam as leis da natureza, assim como os métodos para se alcançar tais entendimentos. Na concepção kuhniana a esse período pode ser atribuído o *status* de revolução científica, o que por sua vez teve como resultado o desenvolvimento da chamada “Ciência Moderna”. Outro período relevante de revolução científica, no âmbito da Física, remete ao início do século XX, com a ascensão da Física Moderna (FM), que mais uma vez modificou profundamente o modo como o ser humano entendia o Universo.

Provavelmente, esses dois momentos históricos, de maneira mais significativa do que em outros, foram palco abundante na utilização dos EPs. Essa afirmação será reivindicada ao longo do texto por meio da exposição de alguns exemplos de utilização desses experimentos na construção do conhecimento referente a esses dois períodos da evolução das teorias físicas.

A percepção mais comum e predominante sobre a revolução científica do século XVII está relacionada à alegação de que, a partir desse período, a investigação acerca das leis da natureza tornou-se mais experimental do que era até então. Essa alegação também conduziu muitas práticas científicas posteriores e, conseqüentemente, ainda está presente, em maior ou menor grau, em meio à comunidade científica até os dias atuais. Todavia, a experimentação referida aqui é a prática experimental concreta, a qual, em um sentido extremo e, por consequência, perigoso, fez surgir alegações de que todo conhecimento deriva da experiência e fundamenta-se basicamente em dados empíricos. Essa concepção na produção do conhecimento científico ficou conhecida como “Empirismo”.

No entanto, observa-se que alguns autores levantam ideias que divergem um pouco dessa concepção usual acerca da Ciência Moderna. Por exemplo, Alexandre Koyré com sua afirmação de que a “boa Física é feita *a priori*” (KOYRÉ, apud BROWN, 1991, p. 88), discorda que a efetivação da revolução científica esteja fundamentalmente relacionada à dependência da observação experimental. Pelo contrário, o autor afirma que a revolução científica aconteceu justamente porque as pessoas pararam de olhar e começaram a pensar. Nesse sentido, talvez o EP seja o principal elemento nessa nova forma de se estudar as leis da natureza (BROWN, 1986).

Outro momento histórico na evolução da ciência está associado à ascensão da FM, que tem como seus principais pilares a TRR e a TRG e a Física Quântica. O principal impacto na forma de se interpretar o mundo decorrente da TRR corresponde a novos entendimentos de grandezas físicas como tempo, espaço, matéria e energia. A Física Quântica traz novas interpretações para o mundo submicroscópico, as quais, em um primeiro momento, aparentam

ser contraintuitivas, abstratas, extremamente imaginativas e conduzem a um entendimento dos fenômenos naturais que se afasta significativamente do que havia sido construído até então.

A relatividade e a quântica foram novamente e talvez mais expressivamente, a casa dos EPs. Uma das justificativas para sua ampla utilização na formulação e divulgação dessas teorias, é que ambas, em muitos casos, lidam com situações em que existe, em maior ou menor grau, certa impossibilidade ou inviabilidade na realização de experimentos concretos. Por exemplo, o experimento do trem relativístico de Einstein, utilizado para discutir a relatividade da simultaneidade, não poderia ser realizado de forma concreta, pois seria necessário acelerá-lo a velocidades próximas à da luz, algo que até o momento não pode ser realizado de forma física. Ainda existem casos nos quais não cabe a realização de um EC, pois, ainda que ele fosse possível, a sua realização é desnecessária, ou até mesmo seria um absurdo fazê-lo. Como exemplo, citamos o EP “Gato de Schrödinger”, ou seja, por mais que o arranjo até possa ser montado com certa facilidade, é totalmente incoerente e desnecessário fazê-lo.

O entendimento da abrangente utilização dos EPs nesses dois momentos históricos da evolução no conhecimento científico remete a um dos objetivos deste capítulo, que consiste em relatar sua aplicação em distintos períodos da história e que relatamos a seguir. Para a nossa descrição utilizaremos alguns elementos que não se encontram nas formulações originais dos EPs. Essa opção se justifica pelo estilo de escrita do autor e pelo esforço em tornar as explanações as mais inteligíveis possível.

### *3.2.1 Exemplos na Física Clássica*

A Física Clássica está associada a vários eventos do nosso cotidiano, foi o seu desenvolvimento que permitiu a construção de máquinas, edifícios, entre outras coisas, sem as quais o mundo atual seria muito diferente. Em sua ascensão os cientistas recorreram amplamente aos EPs, tanto na formulação e corroboração de leis, como na sua divulgação. Para exemplificar vamos narrar dois EPs que ilustram a sua presença na Física Clássica.

#### a) Experimento do Navio de Galileu

Um dos princípios fundamentais, tanto na Física Clássica, como na Física Moderna, é o Princípio da Relatividade. Esse princípio, na formulação de Galileu, recebe a denominação de “Princípio da Relatividade de Galileu” e apoia-se na impossibilidade de se detectar algum efeito físico relacionado ao movimento uniforme de translação de um sistema por meio de

experimentos internos ao mesmo. Em outras palavras, o movimento de translação comum entre vários corpos de um sistema é como se não existisse.

Os primeiros estudos que culminaram no princípio da relatividade galileano estão relacionados a argumentações acerca do movimento da Terra. Atualmente é de conhecimento comum que a Terra gira em torno de seu eixo e se move em torno do Sol, fato que nos é ensinado como verdade ainda nos primeiros anos de nossa escolarização. Porém, em nosso cotidiano, não sentimos os efeitos desse movimento, ou seja, em um primeiro momento, todos os fenômenos a nossa volta transcorrem como se a Terra estivesse em repouso. Os primeiros entendimentos sobre o princípio da relatividade dos movimentos foram resultado desses questionamentos. Ou seja, como sustentar um modelo em que a Terra se move se não é possível detectar os efeitos de tais movimentos (atualmente existem experimentos capazes de detectar tais efeitos)?

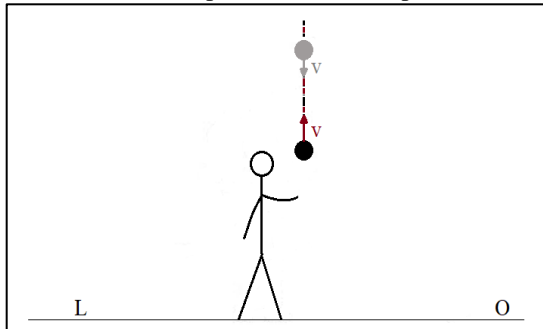
Destacamos, a princípio, que o modelo aceito desde a antiguidade até o renascimento era o geocêntrico, que afirmava (entre outras coisas) que a Terra estaria imóvel no centro do Universo com o Sol e os demais planetas girando a sua volta. Porém, ainda na antiguidade alguns filósofos gregos já haviam sugerido modelos heliocêntricos (com o Sol no centro do Universo) os quais pressupunham que a Terra deveria se mover. Por exemplo, Aristarco de Samos (310-230 a.C.) havia proposto, em sua época, que, na verdade, o Sol deveria estar no centro do Universo com a Terra e os demais planetas girando em torno dele. Foi por volta do século XVI que o modelo geocêntrico começou a ser questionado de maneira mais efetiva, culminando com a ascensão de seu sucessor, o modelo heliocêntrico.

O principal elemento envolvido nessa discussão, que culmina com a formulação do princípio da relatividade de Galileu, reside na possibilidade (ou impossibilidade) de se detectar o estado de movimento da Terra por meio da realização de experimentos em sua superfície. Essas argumentações levam à formulação de um clássico EP, proposto, em sua versão mais difundida, por Galileu em sua obra *“Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano”*. Esse experimento, como menciona Martins (2015), foi sugerido em alguns momentos históricos anteriores e, conseqüentemente, sofreu modificações até a versão apresentada por Galileu e discutida na sequência.

Na antiguidade, Aristóteles, no intuito de validar a ideia de que a Terra deveria estar em repouso, o que vai ao encontro do modelo geocêntrico, sugere um experimento bastante simples: lança-se um objeto “pesado”, como uma pedra, por exemplo, verticalmente para cima e após um determinado intervalo de tempo, é sabido que ela retorna ao chão, e exatamente na mesma posição em que foi lançada (Figura 2). Aristóteles argumenta que, se a Terra de fato

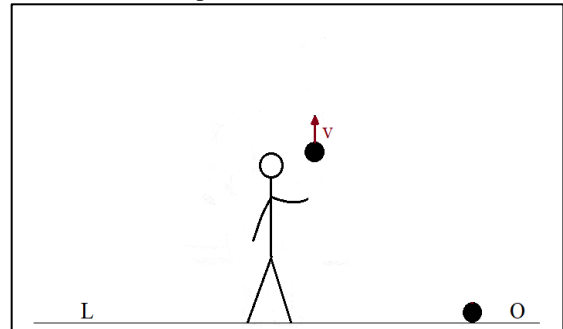
estivesse se movendo de oeste para leste, então a pedra não deveria cair na mesma posição, e sim um pouco para a oeste (Figura 3). Com efeito, o que se observa é que a pedra cai na mesma posição de lançamento (Figura 2), o que, na linha de raciocínio de Aristóteles, corrobora sua suposição.

Figura 2 - Trajetória descrita segundo a Física aristotélica para a Terra em repouso.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 3 - Trajetória descrita segundo a Física aristotélica para a Terra em movimento.



Fonte: Autor, 2018.

Na segunda jornada de sua obra “*Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*”, Galileu, por meio de seu personagem Salviati, tece várias considerações no intuito de defender a ideia do movimento da Terra. Inicialmente, o autor traz argumentos acerca da relatividade dos movimentos, ilustrados pelo exemplo de um navio carregado com mercadorias que se move de Veneza até Alepo, passando antes por Corfu, Cândia e Chipre. Nesse caso, ele argumenta que, para os fardos, caixas e demais mercadorias presentes no navio, e inclusive para o próprio navio, o movimento é como se fosse nulo, visto que não altera em nada a relação existente entre eles. Na sequência do diálogo, com base nessas constatações, Galileu representado por seu personagem e porta voz Salviati, conclui:

**Salviati** - Sendo, portanto, evidente que o movimento, que seja comum a muitos móveis, é ocioso e como que nulo no que se refere a relação desses moveis entre si, pois que entre eles nada muda, e somente é operativo na relação que esses moveis tem com outros que não possuem aquele movimento, entre os quais se muda a disposição[...] (GALILEI, 2001, p. 199).

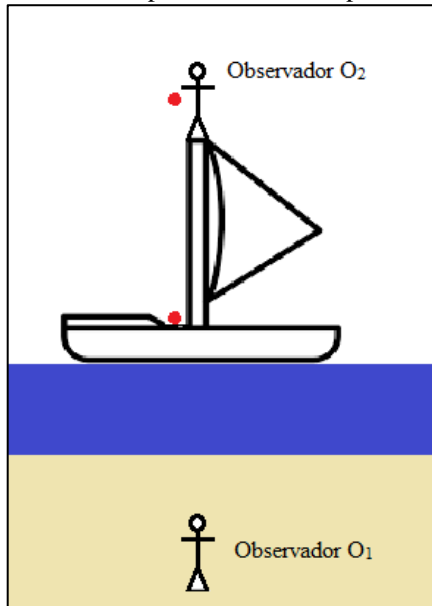
No mesmo trecho, Galileu prossegue com o raciocínio e chama a atenção para outra propriedade do movimento relativo dos corpos e diretamente relacionada à possibilidade do movimento da Terra:

**Salviati** - [...] e tendo separado o Universo em duas partes, uma das quais é necessariamente móvel, e a outra imóvel, por tudo aquilo que possa depender de tal movimento, tanto faz que se mova somente a Terra como todo o restante do mundo, pois que a operação de tal movimento não está em outra coisa que na relação existente entre os corpos celeste e a Terra, relação esta que é a única a mudar. Ora, se, para alcançar o mesmo efeito *ad unguem*, tanto faz se somente a Terra se mova, ficando parado todo o restante do Universo, que se, ficando parada a Terra, todo o Universo se mova com um mesmo movimento, quem quererá acreditar que a natureza (que, entretanto, por senso comum, não faz com a intervenção de muitas coisas aquilo que pode fazer por meio de poucas), tenha escolhido fazer mover um número imenso de corpos enormes, e com uma velocidade inestimável, para obter aquilo que com o movimento insignificante de um só em torno de seu próprio centro poderia obter? (GALILEI, 2001, p. 199).

Após outras argumentações e suposições, tanto da parte de Salviati como de Simplicio, o primeiro sugere a realização do EP do navio, que é semelhante ao EP de Aristóteles sobre lançamento vertical, mencionado anteriormente. Antes de ser desenvolvido por Galileu, esse experimento foi realizado pelo filósofo francês Nicole Oresme (1320-1382), com o intuito de discutir a impossibilidade, de, por meio dele, verificar o estado de movimento da Terra – contribuição que não será tratada neste texto.

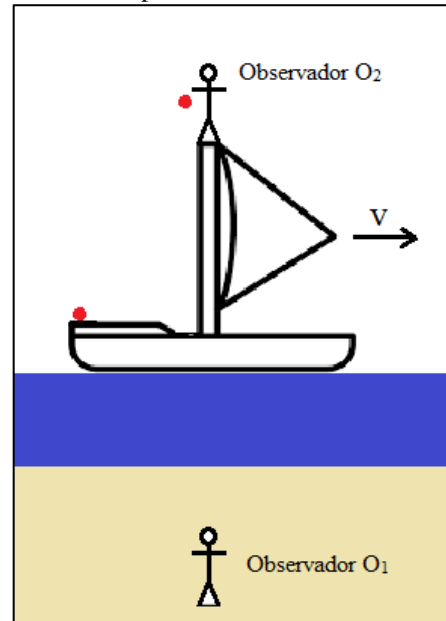
Galileu inicia descrevendo o experimento e a sua interpretação do ponto de vista aristotélico. A ideia é razoavelmente simples, imagina-se um navio com um mastro de onde é possível abandonar um objeto “pesado” (uma bola de chumbo) em queda. Para a realização do experimento imaginasse a água totalmente em repouso em relação ao solo. Fixam-se, então, a água e o navio em relação a dois referenciais,  $S_1$  e  $S_2$ , respectivamente, em repouso em relação à água encontra-se o observador  $O_1$ , e em repouso em relação ao navio,  $O_2$ . Segundo a versão defendida pelos seguidores da Física aristotélica, se a bola de chumbo fosse abandonada quando o navio estivesse em repouso, ela cairia próximo à base do mastro (Figura 4). Porém, se o mesmo experimento for realizado com o navio em movimento, a bola cairia afastada da base do mastro (Figura 5). A distância entre o local da batida da bola no chão do navio e o mastro seria equivalente à distância percorrida pelo navio durante o tempo de queda da bola. De acordo com esse ponto de vista, tanto  $O_1$  como  $O_2$  concordariam sobre essas afirmações.

Figura 4 - Ponto de impacto segundo a Física aristotélica para o navio em repouso.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 5 - Ponto de impacto segundo a Física aristotélica para o navio em movimento.



Fonte: Autor, 2018.

A interpretação de Galileu para o experimento diverge significativamente do exposto pela concepção aristotélica. Em um trecho do diálogo, Salviati questiona Simplicio sobre o resultado da experiência:

**Salviati** – Muito bem! Fizestes alguma vez a experiência do navio?

**Simplicio** – Nunca a fiz; mas acredito que aqueles autores, que a propõe, a tenham diligentemente observado: além do que se conhece tão claramente a causa da desigualdade, que não deixa lugar para a dúvida.

**Salviati** – Que é possível que aqueles autores a proponham sem tê-la efetuado, vos mesmos são um bom testemunho, pois sem tela feito considerais que é certa, sujeitando-vos de boa-fé ao que é dito por eles: do mesmo modo que não somente é possível, mas necessário, que tenham feito eles também, ou seja, de remeter-se a seus antecessores, sem que se chegue jamais a alguém que a tenha feito; porque qualquer um que a fizer, encontrara que a experiência mostra totalmente o contrário do que é escrito: ou seja, mostrara que a pedra caís sempre no mesmo lugar do navio, esteja ele parado ou movendo-se com qualquer velocidade. Donde, por ser a mesma razão válida para a Terra e para o navio, da queda da pedra sempre perpendicularmente ao pé da torre nada se pode inferir sobre o movimento ou repouso da Terra (GALILEI, 2001, p. 226).

Nesse trecho, Galileu apresenta uma nova hipótese sobre o resultado da experiência do navio, inviabilizando-o, a princípio, como argumento para se definir o estado de movimento da Terra. O autor põe em dúvida se o experimento foi em algum momento da história realizado de forma concreta, visto que, segundo ele, se de fato fosse, daria o resultado contrário ao que se

defendia até então. Na sequência, Salviati afirma não ser necessário realizá-lo de forma concreta para chegar ao resultado por ele proposto, ou seja, basta realizá-lo na forma de EP:

**Salviati** – Eu, sem experiência, estou certo de que o efeito seguir-se-á como vos digo, porque assim é necessário que se siga; e acrescento que vós mesmos sabeis muito bem que não pode acontecer diferente, ainda que finjais, ou simuleis fingir não saber. Mas eu sou tão bom domador de cérebros, que farei que o confesseis com toda a força (GALILEI, 2001, p. 226).

A partir desse ponto, Salviati inicia uma linha de raciocínio, conduzindo o EP de tal forma que corrobore a sua afirmação. Porém antes de tecer mais considerações acerca do EP do navio, o personagem propõe outro experimento de pensamento, digamos complementar, no andamento das argumentações. Ele sugere que seus debatedores imaginem uma superfície polidíssima como um espelho, que não se encontra paralela ao horizonte, e sim inclinada, sobre a qual se coloca uma bola perfeitamente esférica, de matéria “pesada” e extremamente dura, deixada em liberdade sobre a superfície. A superfície perfeitamente polida e a bola perfeitamente esférica são características observadas pelo autor para que se remova todo e qualquer tipo de impedimento externo. Além disso, ele recomenda que seja suprimido o impedimento do ar, assim como qualquer outro que possa existir.

Nesse ponto do diálogo, Salviati questiona a Simplício o que ocorreria se a bola fosse abandonada em tais circunstâncias. De imediato, ele responde:

**Simplício** – Compreendi tudo perfeitamente: quanto a vossa pergunta, respondo que ela continuaria a mover-se ao infinito, se tanto durasse a inclinação do plano, e com um movimento continuamente acelerado; porque tal é a natureza dos moveis graves, que *vires acquirant eundo*: e, quanto maior fosse a inclinação, maior seria a velocidade (GALILEI, 2001, p. 228).

Salviati não discute a resposta de Simplício e prossegue com o experimento:

**Salviati** – Mas, se outros quisessem que aquela bola se movesse para cima sobre aquela mesma superfície, acreditais que ela subiria?

**Simplício** – Espontaneamente não, mas só arrastada ou lançada com violência.

**Salviati** – E quando ela fosse impelida por algum ímpeto que lhe fosse violentamente impresso, qual e quanto seria o seu movimento?

**Simplício** – O movimento iria sempre enfraquecendo e retardando-se, por ser contra a natureza, e seria mais demorado ou mais breve, segundo o maior ou menor impulso e segundo o maior ou menor declive (GALILEI, 2001, p. 228).

Salviati, então, questiona Simplício acerca do que aconteceria se o mesmo corpo sobre a superfície fosse abandonado, porém nem em aclive, tampouco em declive.



**Simplicio** – Aqui preciso pensar um pouco na resposta. Como não existe declividade, não pode existir uma inclinação natural ao movimento e, não existindo aclividade, não pode existir resistência a ser movido, de modo que seria indiferente à propensão e a resistência ao movimento: parece-me, portanto, que ele deveria ficar naturalmente em repouso (GALILEI, 2001, p. 228).

Concordando com a resposta do seu interlocutor, Salviati prossegue em seu raciocínio e questiona:

**Salviati** – Assim acredito, quando alguém o colocasse parado; mas se lhe fosse dado um ímpeto em direção a alguma parte, o que aconteceria?

**Simplicio** – Continuará a mover-se na direção daquela parte.

**Salviati** – Mas com que espécie de movimento? Por um movimento continuamente acelerado, como nos planos em declive, ou por um movimento sucessivamente retardado, como nos aclives?

**Simplicio** – Eu não consigo perceber acusa de aceleração nem de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

**Salviati** – Sim. Mas se não existisse causa de retardamento, muito menos deveria existir de repouso: quanto acreditais, portanto, que duraria o movimento do móvel?

**Simplicio** – Tanto quanto durasse o comprimento daquela superfície que não é nem subida, nem descida.

**Salviati** – Portanto, se esse espaço fosse ilimitado, o movimento nele seria igualmente sem fim, ou seja, perpétuo?

**Simplicio** – Parece-me que sim, sempre quando o móvel fosse de matéria duradoura (GALILEI, 2001, p. 229).

Todas as argumentações apresentadas até aqui para o EP descrito, tanto da parte de Salviati, como de Simplicio, são, indubitavelmente, com algumas poucas exceções e alterações, as explicações aceitas atualmente para tais fenômenos.

Em relação a todas as premissas utilizadas por Salviati, a princípio, Simplicio não vê dificuldade de aceitação, já que, em certa medida, também são aceitas na concepção aristotélica. Salviati, utiliza-se, então, dessas mesmas premissas, e de outras da própria Física de Aristóteles, para mostrar o quanto é absurdo o resultado do experimento do navio sugerido por tal interpretação.

**Salviati** – Dizei-me então: qual estimais que seja a razão do movimento espontâneo daquela bola pelo plano em declive, e do movimento que não se faz sem violência pelo plano em aclive?

**Simplicio** – Porque a tendência dos corpos pesados é a de mover-se para o centro da Terra, e somente por violência para cima em direção a circunferência; e a superfície inclinada é aquela que se aproxima do centro, enquanto o aclive se afasta dele.

**Salviati** – Portanto, uma superfície que não fosse nem declive nem aclive deveria necessariamente ser todas as suas partes igualmente afastadas do centro. Mas existe alguma superfície assim no mundo?

**Simplicio** – Não faltam: existe aquela do nosso globo terrestre, se ela fosse, porém, bem polida e não, como é, áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranquila (GALILEI, 2001, p. 229).

É admirável a elegância das argumentações de Galileu ao conduzir seus experimentos de pensamento, pois, baseando-se em suas próprias premissas ele demonstra as inconsistências da teoria em questão. Nesse ponto do diálogo, Salviati chega, por meio de um raciocínio lógico, e fundamentado em pressupostos conhecidos por Simplicio, a definições que, por si só, podem resolver o problema do EP do navio. A partir daí Salviati, retoma as discussões acerca do experimento do navio para chegar às suas conclusões.

**Salviati** – Portanto, um navio que navegue na calma do mar é um daqueles móveis que transita sobre uma daquelas superfícies que não são nem declives nem aclives; e, por isso, está em condição, quando lhe fossem removidos todos os obstáculos acidentais e externos, de mover-se continua e uniformemente com o impulso que lhe foi dado.

**Simplicio** – Parece que deve ser assim.

**Salviati** – E aquela pedra que está no topo do mastro não se move, levada pelo navio, também ela pela circunferência de um círculo em torno do centro e, por consequência, com um movimento indelével nela, removidos os impedimentos externos? E esse movimento não é tão veloz como aquele do navio?

**Simplicio** – Até aqui tudo vai bem. Mas e o restante?

**Salviati** – Extraí vós mesmos em boa hora a última consequência já que por vós mesmos sabeis todas as premissas (GALILEI, 2001, p. 229-230).

A consequência a que Salviati se refere é o próprio resultado do experimento, ou seja, tanto no caso do navio em movimento, como em repouso, cai aos pés do mastro o corpo abandonado do seu topo. Simplicio compreende a tendência de que o corpo teria de continuar a se mover na mesma direção e sentido do navio devido a uma virtude nele impressa. Essa “virtude impressa”, já era um conceito aceito na época (inclusive na concepção aristotélica), semelhante ao de inércia, que remete a Newton, aproximadamente um século mais tarde. Esse conceito foi apresentado pela primeira vez com o nome de “ímpeto” por Jean Buridan (1300 d.C. – 1358 d.C.) (MARTINS, 2015).

Todas as alegações aqui expostas corroboram a validade do princípio da relatividade. Ou seja, não existe experimento capaz de determinar o estado de movimento de um corpo em translação uniforme. Cabe destacar que Galileu afirma que somente movimentos uniformes não geram efeitos perceptíveis. Portanto, se o navio oscilasse (freando bruscamente, por exemplo) os tripulantes perceberiam o efeito de tal movimento. De maneira semelhante, se a Terra oscilasse em seu movimento, isso produziria efeitos perceptíveis. Esse pressuposto foi utilizado por Galileu para explicar, erroneamente, o fenômeno das marés. Segundo ele, a composição dos movimentos de rotação e translação geraria um tipo de oscilação, o qual produziria tal efeito (MARTINS, 2015).

## b) Balde de Newton

O Princípio da Relatividade, tal como é definido por Galileu, não é equivalente ao que classicamente se aceita nos dias atuais. A versão final para o princípio da relatividade dos movimentos no âmbito da Física Clássica remete à obra de Isaac Newton, por volta do ano de 1687.

Isaac Newton nasceu na Inglaterra em 1642, mesmo ano da morte de Galileu, em uma época marcada por grandes modificações no meio científico. Newton se apoiou em conhecimentos de cientistas como Galileu, Descartes, Euclides e Kepler. Ao longo de vários anos, publicou diversos trabalhos que revolucionaram a Óptica, a Matemática e as leis do movimento.

Em 1687, Newton publicou uma de suas obras mais importantes, referente ao estudo da mecânica – “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural), que ficou conhecida, mais tarde, somente como “Os Principia”. Esse trabalho contém uma descrição acerca da cinemática de Galileu e do movimento planetário de Kepler. Newton apresenta, também, as definições de força, aceleração e ação a distância.

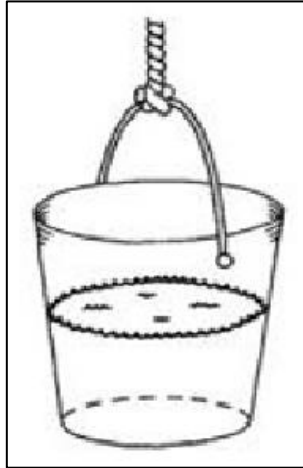
Uma das características fundamentais da mecânica newtoniana é a consideração de que tempo e espaço são grandezas absolutas. Nas palavras do próprio Newton: “o tempo absoluto, verdadeiro, matemático, em si mesmo e pela sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa”; “O espaço absoluto, por sua natureza, sem nenhuma relação com algo externo, permanece sempre semelhante e imóvel” (NEWTON apud SERWAY, 1996).

A concepção de Newton pode ser contrastada com a de Leibniz, por exemplo, onde o espaço seria o resultado da relação entre os corpos. Nessa concepção, se não existissem corpos materiais conseqüentemente não haveria espaço. Porém, observa-se que na concepção de Newton não há nenhuma incoerência na existência de um espaço “vazio”. Segundo Newton, o espaço absoluto não poderia ser percebido, e sim, somente o relativo, por meio das posições relativas dos corpos.

A definição de um espaço absoluto teve profundo impacto na formulação clássica do princípio da relatividade dos movimentos. Ao aplicar a ideia defendida por Galileu, de que o movimento comum não produziria efeitos observáveis, Newton chamou a atenção para a diferença entre os movimentos de rotação e translação. Para tanto, ele se utilizou de um celebre experimento de pensamento, que será descrito na sequência. O famoso EP ficou conhecido como “Balde de Newton”.

No EP sugerido por Newton, um recipiente (o balde) cheio, em parte, com água em seu interior é suspenso por uma longa corda. Se tanto o balde, como a água (ou seja, todo o sistema) estiverem parados, a superfície da água é plana e horizontal como mostra a Figura 6.

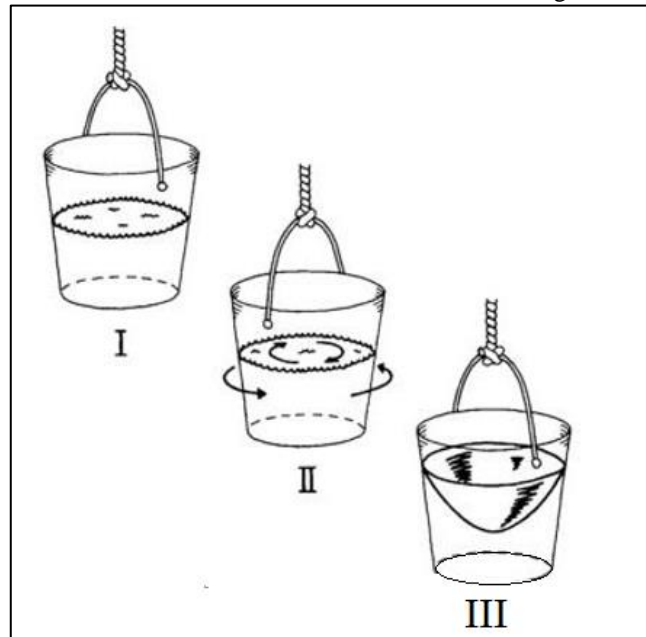
Figura 6 - Balde em repouso.



Fonte: Adaptado de Brown, 1991, p. 10.

Imaginamos que, por meio de uma torção na corda, o balde é posto a girar. A Figura 7 representa três momentos do experimento. O estado I remete ao instante em que o balde é liberado, no qual não existe movimento relativo entre o balde e a água. O que se observa é que a superfície da água é plana e horizontal. Nos instantes posteriores, o balde estará girando, porém, a água não começa imediatamente a girar com ele. Nesse momento, caracterizado pelo estado II, existirá um movimento relativo entre o balde e a água, e percebe-se que a água ainda estará nivelada da mesma forma que no estado I. No estado III, após ter passado um determinado intervalo de tempo desde o estado I, a água já estará girando junto com o balde. Nesse instante pode-se afirmar que novamente não existe movimento relativo entre o balde e a água, de forma equivalente ao estado I, porém, o que se observa é que a superfície da água não está mais plana, e sim côncava (mais baixa no centro do balde e mais alta em suas paredes).

Figura 7 - Três estados de movimento relativo entre a água e o balde.



Fonte: Adaptado de Brown, 1991, p. 10.

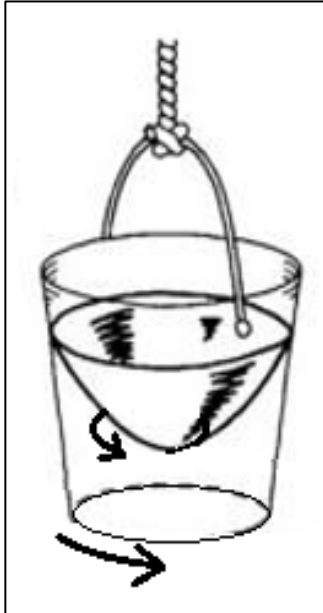
Neste momento, por meio do EP de Newton, podemos levantar o seguinte problema: Como é possível explicar a diferença entre o estado I e o estado III? Isso não pode ser explicado com base no movimento relativo entre o balde e a água, visto que, em ambos os casos, tal movimento não existe. Essa consideração leva a uma refutação, em partes, do princípio da relatividade, tal como foi proposto por Galileu. Ou seja, segundo Galileu, o movimento comum não pode ser detectado, a ponto de parecer nem existir, porém o que se percebe por meio dessa simples experiência é diferente, ou seja, no estado III existe movimento comum entre o balde e a água, e este movimento está inegavelmente gerando efeitos observáveis.

Newton responde a esse problema de uma forma bem simples, porém com profundo impacto conceitual. Segundo ele, no estado I, a água e o balde estão em repouso em relação ao espaço absoluto (isto é, em repouso absoluto). No estado III, a água e o balde estão em movimento em relação ao espaço absoluto (isto é, em movimento absoluto). Nesse sentido, o que altera o formato da superfície da água, não é o seu estado de movimento relativo em relação ao balde, e sim o seu estado de movimento absoluto em relação ao espaço absoluto. Visto que no estado I a água está em repouso em relação ao espaço absoluto, e no estado III, está em movimento, torna-se compreensível a diferença observada no formato de sua superfície.

Essas considerações levam a conclusão de que, se a água estiver girando em relação ao espaço absoluto sua superfície ficará côncava, independentemente do estado de movimento do balde. Para ilustrar essa ideia, e dando continuidade ao experimento, imaginasse o balde e a água girando juntos, a superfície da água estaria côncava, como mostra a Figura 8.

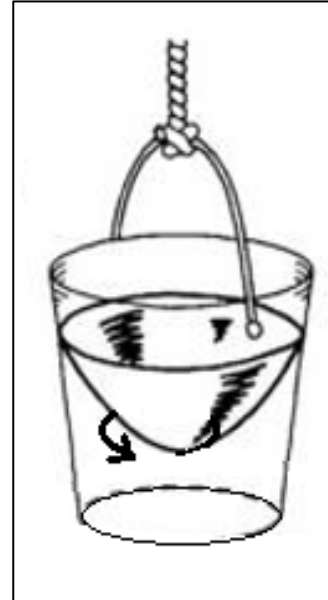
Repentinamente segura-se o balde, fazendo-o parar de girar, mesmo o balde tendo parado, a água ainda continuará girando por um determinado intervalo de tempo e sua superfície continuará côncava (Figura 9).

Figura 8 - Balde e água em repouso relativo.



Fonte: Adaptado de Brown, 1991, p. 10.

Figura 9 - Balde e água em movimento relativo.



Fonte: Adaptado de Brown, 1991, p. 10.

Esse EP e suas respectivas considerações, tem como consequência e tornam necessário, que se admita a existência de um espaço absoluto. Além dessa consequência profunda no entendimento do espaço, Newton faz importantes considerações acerca da diferenciação entre os movimentos de rotação e translação. Ele estabelece que os primeiros produzem efeitos absolutos, já os segundos não. Ou seja, um movimento de translação, de qualquer tipo, comum a todas as partes de um sistema não altera seus fenômenos internos. Por exemplo, se vários corpos estiverem se movendo com a mesma velocidade e na mesma direção, os efeitos produzidos entre eles não dependerão da velocidade que possuem, ou seja, tudo transcorre como se eles estivessem em repouso. A afirmação também é válida se vários corpos estiverem em movimento acelerado, na mesma direção, e com mesmo módulo de velocidade e aceleração, nesse caso, da mesma forma, os efeitos produzidos entre eles não depende da velocidade e da aceleração que possuem. Por exemplo, se vários corpos estiverem caindo juntos em um campo gravitacional uniforme, tudo se passa para eles da mesma forma.

### 3.2.2 Exemplos da Física Moderna

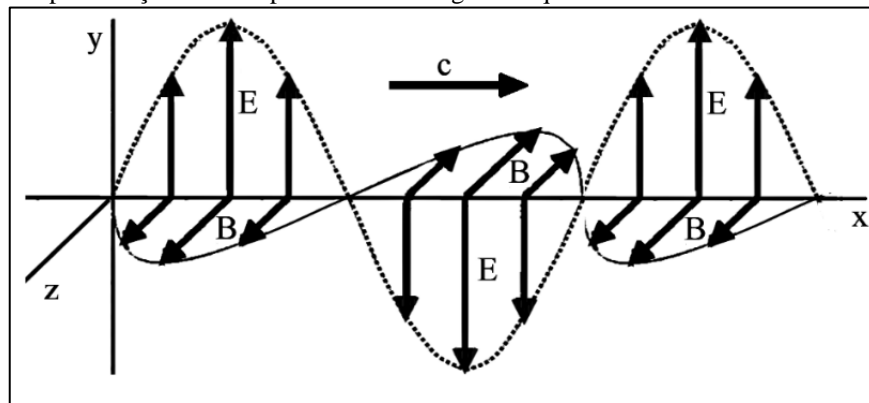
A Física Moderna contempla basicamente os tópicos da TRR e TRG e Física Quântica. Frequentemente essas teorias tem que lidar com situações em condições extremas, ou seja, em velocidades relativísticas, em escalas subatômicas, na ausência de campos gravitacionais ou na presença de campos gravitacionais extremamente intensos. Esse tipo de condição remete a situações que, por muitas vezes, não podem ser reproduzidas facilmente em um laboratório físico (muitas vezes existe uma impossibilidade total de realização), o que remete a necessidade de se realizar experimentos de forma imaginária. No que diz respeito, a Física Moderna, existe uma gama razoavelmente ampla de EPs que podem ser citados, todavia, por limitações textuais, selecionamos aleatoriamente dois deles, cujo objetivo está em ilustrar sua aplicabilidade e validade no meio científico.

#### a) Perseguição da onda de luz

A concepção de luz como um fenômeno ondulatório foi defendida no século XVII por René Descartes (1596-1650), Christiaan Huygens (1629-1695), Robert Hooke (1635-1703), entre outros, em contrapartida da concepção de Newton de que a luz seria constituída por partículas. No início do século XIX a discussão é retomada, após um período razoavelmente longo de predomínio da concepção corpuscular. As contribuições mais significativas em prol da concepção ondulatória remetem aos trabalhos de Thomas Young (1773-1829) e Agustín Fresnel (1788-1827), suas principais observações remetem aos fenômenos de difração e interferência, entendidos então como fenômenos possíveis apenas se a luz fosse considerada como uma onda. Atualmente, do ponto de vista clássico, a concepção formal de luz como um fenômeno ondulatório, remete a definição mais específica de luz como uma onda eletromagnética, que de forma geral, pode ser atribuída a teoria de Maxwell.

Segundo as leis de Maxwell, uma onda eletromagnética é constituída por campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo e no espaço, conforme a Figura 10. As equações de Maxwell também previam que a luz, no vácuo, possui uma velocidade de aproximadamente 300.000 km/s, esse valor coincidia de forma bastante precisa com medições experimentais realizadas antes e depois da formulação de suas leis.

Figura 10 - Representação dos campos elétrico e magnético que constituem uma onda eletromagnética.



Fonte: Autor, 2018.

Na época de Maxwell a grande maioria dos cientistas, defensores da teoria ondulatória da luz, aceitava a existência de uma substância denominada “Éter”. Tal substância estaria presente em todas as partes do Universo, permeando a matéria e o espaço “vazio”. O éter seria o meio onde a luz se propagaria, assim como, a matéria é o meio em que uma onda mecânica se propaga. Nesse sentido, Maxwell desenvolveu as suas equações a partir de um referencial em repouso em relação ao éter. Notadamente, na época não era claro o que deveria ocorrer quando se mudasse de referencial, ou seja, para outro em movimento em relação ao éter. Se o eletromagnetismo obedecesse ao princípio da relatividade, as suas equações deveriam ser igualmente válidas para o segundo referencial. Não é certo até que ponto Maxwell pensava que o eletromagnetismo deveria obedecer integralmente ao princípio da relatividade, no entanto, destaca-se que ele publicou um trabalho em 1877, onde deu bastante ênfase ao assunto (MARTINS, 2015).

Quando se tenta aplicar o princípio da relatividade galileano às leis de Maxwell, surgem inicialmente algumas dificuldades. Essas dificuldades, tem como resultado o início da construção de novas ideias acerca da eletrodinâmica dos corpos em movimento, que, por fim, desencadeia na TRR. Não é o objetivo deste texto explorar como ocorreu essa construção, e sim, o papel de um EP em particular. Papel este, que consiste justamente em levantar um problema existente entre o eletromagnetismo e a mecânica clássica. Trata-se do experimento de perseguição de uma onda de luz.

Em suas notas autobiográficas, Einstein afirma ter elaborado o problema já aos dezesseis anos de idade. O então jovem Einstein, em determinado momento, teria se deparado com a seguinte questão:



Se um raio luminoso for perseguido a uma velocidade  $c$  (velocidade da luz no vácuo), observamos esse raio de luz como um campo eletromagnético em repouso, embora com oscilação espacial. Entretanto, aparentemente não existe tal coisa, quer com base na experiência, quer de acordo com as equações de Maxwell. Desde o início, tive a intuição clara de que, segundo o ponto de vista desse observador, tudo devia acontecer de acordo com as mesmas leis aplicáveis a um observador que estivesse em repouso em relação à terra. Pois, como poderia o primeiro observador saber ou determinar que está em estado de movimento rápido uniforme?

Vemos nesse paradoxo o germe da teoria da relatividade restrita. Hoje todos sabem que as tentativas de esclarecer satisfatoriamente esse paradoxo estariam condenadas ao fracasso enquanto o axioma do caráter absoluto do tempo, ou da simultaneidade, estivesse enraizado no inconsciente. A compreensão do axioma e do seu caráter arbitrário é o ponto essencial para a solução do problema (EINSTEIN, 1982, p. 55).

Existem algumas controversas em relação a formulação original do EP, tal como referida acima por Einstein (1982). Nem todos os autores tomam como verídica a alegação de Einstein no que diz respeito aos elementos envolvidos e a época de elaboração do EP. Santos e Silveira (2016) trazem em seu trabalho relatos confiáveis sobre sua formulação e interpretação, assim como uma discussão sobre pontos controversos a seu respeito. De acordo com os mesmos autores Norton (2004; 2005; 2011) não acredita que o relato de Einstein em suas notas autobiográficas corresponda a construção mental que teria feito aos 16 anos de idade. O autor utiliza como argumento o fato de que Einstein teria estudado as equações de Maxwell somente no curso Universitário, anos mais tarde, e também o fato de que Einstein não menciona esse EP em seu trabalho de 1905. Ou seja, já que ele considerava o EP como o germe da TRR, deveria tê-lo ao menos citado, mas no caso de seu trabalho de 1905 ele utiliza outro EP para abordar o problema entre o eletromagnetismo e o princípio da relatividade, relacionado ao movimento relativo entre um ímã e um fio condutor de eletricidade (LORENTZ; EINSTEIN; MINKOWSKI, 1958).

Na sequência de seu trabalho, Santos e Silveira (2016) trazem novamente considerações apontadas por Norton (2004; 2005; 2011), que demonstram algumas inconsistências dos questionamentos apresentados no relato de Einstein sobre o EP em suas notas autobiográficas. Todavia, segundo os autores, por mais que Einstein e Norton não tenham explicitado como, o EP pode ser utilizado para levantar alguns problemas entre o eletromagnetismo e o princípio da relatividade. Os autores demonstram uma forma de se fazer isso no final de seu texto.

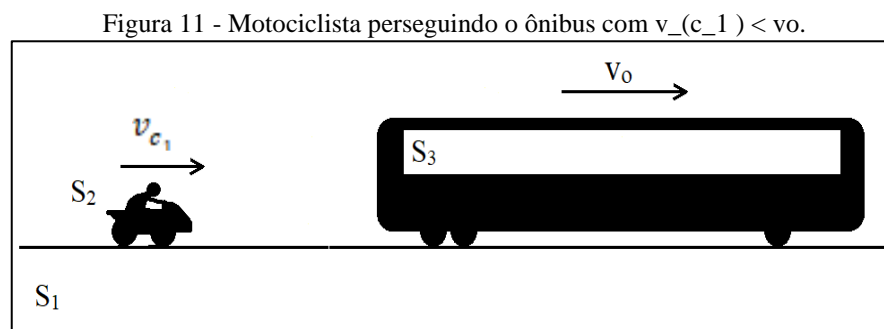
Independentemente das controversas em relação a data e o como ele foi formulado, com certeza trata-se de um EP, de uma suposição, que até os dias atuais não pode ser executada, mas que, ao levá-la ao seu limite imaginável revela a incompatibilidade entre a mecânica clássica e a então emergente teoria eletromagnética de Maxwell. Na continuidade deste texto faremos

uma reconstrução deste EP, no intuito de discutir suas características mais fundamentais, e como ele tem o “poder” de mostrar essa aparente incompatibilidade.

Inicialmente, por analogia, optamos neste texto, por introduzir o problema a baixas velocidades em relação a velocidade da luz. Essa escolha reside no fato de que para essas situações, podemos, sem enfrentar nenhuma situação paradoxal, aplicar as leis da Física Clássica, com as devidas aproximações e considerações. O EP introdutório sugerido será o de uma motocicleta perseguindo um ônibus. Na sequência, e com base no EP da perseguição da onda de luz, ficará demonstrado que o mesmo não pode ser feito para o caso da luz e de observadores que se movem próximos a essa velocidade.

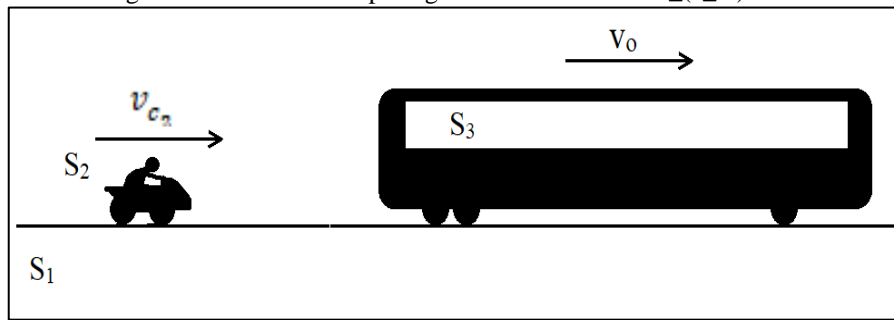
Inicialmente se faz necessária a definição de alguns sistemas de referência. Nesse sentido, definimos  $S_1$  como um sistema de referência em repouso em relação a estrada;  $S_2$  se encontra em repouso em relação ao motociclista; e,  $S_3$  em repouso em relação ao ônibus. O experimento será dividido em dois momentos, onde o estado de movimento dos três referenciais será analisado.

No que diz respeito ao primeiro momento, imaginamos um motociclista que se move sobre a estrada (perfeitamente plana e horizontal e da superfície da qual foi, de alguma forma, retirado todo o ar), com uma velocidade constante  $v_{c_1}$  em relação a  $S_1$ . Sobre essa mesma estrada se move um ônibus com velocidade constante  $v_o$ , também em relação a  $S_1$ , neste instante (primeiro momento), em relação a  $S_1$ ,  $v_{c_1} < v_o$ . Em seguida o motociclista persegue o ônibus em um movimento acelerado até que, em relação a  $S_1$ , as velocidades dele e do ônibus se igualem, ou seja,  $v_{c_2} = v_o$ , a partir deste momento ambos seguem com velocidade constante (segundo momento). Os dois instantes (primeiro e segundo momento) do EP ( $v_{c_1} < v_o$  e  $v_{c_2} = v_o$ , respectivamente) são ilustrados nas Figuras 11 e 12.



Fonte: Autor, 2018.

Figura 12 - Motociclista perseguindo o ônibus com  $v_{c_2} = v_o$ .



Fonte: Autor, 2018.

Todas as premissas utilizadas para formular o EP, para o caso do motociclista perseguindo o ônibus, e as considerações que vem a partir daqui, são válidas para essa situação e estão diretamente relacionadas à interpretação da Física Clássica para o fenômeno. Com base no experimento de pensamento sugerido, é possível fazer algumas considerações acerca do estado de movimento, tanto do motociclista, como do ônibus nos dois momentos destacados.

No primeiro momento, podemos afirmar que para o referencial em repouso em relação a estrada ( $S_1$ ), ambos, o motociclista e o ônibus, se encontram em movimento com velocidades constantes de módulos diferentes, a saber,  $v_o$  e  $v_{c_1}$ , ambas orientadas para a direita. No segundo momento, ainda referente ao referencial  $S_1$ , ambos continuam em movimento, porém com velocidades de módulos e orientações iguais  $v_{c_2} = v_o$ , ambas para a direita. Essas considerações certamente não apresentam grandes dificuldades, e podem facilmente ser formuladas e observadas, com as devidas aproximações, em situações do cotidiano.

Na sequência, mudamos de referencial, ou seja, para o referencial do motociclista  $S_2$ . Para este, novamente buscamos atribuir o estado de movimento dos outros dois, nesse caso, dos observadores em repouso em relação a  $S_1$  e  $S_3$ , a estrada e o ônibus, respectivamente. Em relação ao primeiro momento os fenômenos observados pelo motociclista são interpretados por ele da seguinte maneira: ele observa a estrada ( $S_1$ ) se movendo para a esquerda com velocidade de módulo igual a  $v_{c_1}$ ; no que diz respeito ao ônibus, ele observa que este se move para a direita com velocidade de módulo igual a  $v_o - v_{c_1}$ .

No que diz respeito ao segundo momento o que o motociclista observa é a estrada se movendo em relação a ele, com velocidade de módulo igual a  $v_{c_2}$  para a esquerda. Porém, a velocidade relativa entre ele e o ônibus é nula, o que tem como conclusão óbvia que  $S_2$  e  $S_3$ , estão em repouso relativo, porém se movendo em relação a  $S_1$ .

Na interpretação desse experimento se fazem necessárias algumas considerações que vão ao encontro do objetivo do EP principal (da perseguição da onda de luz), principalmente

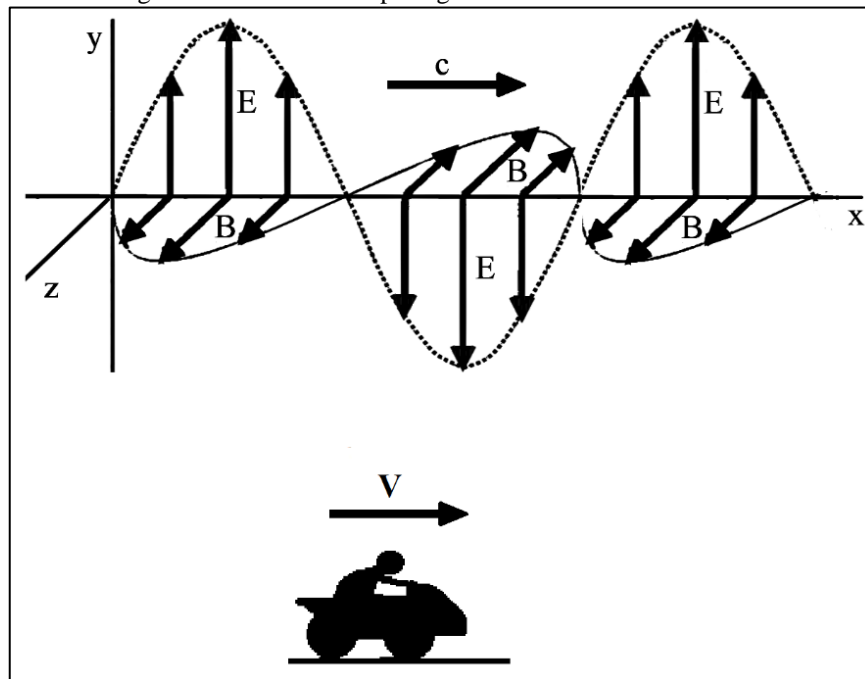
em relação ao princípio da relatividade de Galileu e Newton. Quando se muda de referencial, de  $S_1$  para  $S_2$ , da estrada para o do motociclista, respectivamente, percebemos que as mesmas leis físicas são formuladas, ao ponto que o motociclista de fato não consegue afirmar com convicção se é ele que se move em relação à estrada, para a direita, ou a estrada que se move em relação a ele, para a esquerda. Porém, nesses dois casos existe movimento relativo entre ambos, e não existe qualquer experimento mecânico conduzido em repouso a um desses referenciais capaz de atribuir um estado de movimento ou repouso absoluto.

Essa pode ser compreendida como uma demonstração simples do princípio da relatividade, no sentido clássico. Este princípio é muito bem estabelecido e aceito até os dias atuais, o que não foi diferente na época da formulação da TRR. Nesse sentido, cabe a pergunta: O que aconteceria se a perseguição fosse em relação a um feixe de luz? Ao se formular um EP, no sentido de buscar possíveis respostas a essa pergunta, a consequência é uma situação aparentemente paradoxal. As tentativas de esclarecer esse paradoxo, podem trazer implicações profundas na forma como se interpreta a situação e conduzir a consequências extraordinárias na compreensão de tempo, simultaneidade, entre outros fenômenos.

O EP da perseguição da onda de luz será conduzido de forma muito aproximada ao da perseguição do ônibus pelo motociclista. Inclusive se utilizará as mesmas nomenclaturas para os sistemas de referencia,  $S_1$  continuará sendo o referencial em repouso em relação ao solo, porém  $S_2$  será o referencial em que o motociclista que perseguirá o feixe de luz estará em repouso, e  $S_3$  será o sistema de referência em repouso em relação ao feixe de luz.

Nesse caso é necessário que se imagine um determinado observador, um motociclista, que pode se mover a velocidades extremamente altas. Ele decide então perseguir uma onda de luz como ilustra a Figura 13.

Figura 13 - Motociclista perseguindo a luz com velocidade  $v$ .



Fonte: Autor, 2018.

A ideia consiste em, inicialmente, buscar compreender este EP com base nas leis conhecidas e bem estabelecidas anteriormente a formulação da TRR, o que inevitavelmente leva a situação paradoxal, que nas palavras de Einstein (1982, p. 55) em suas notas autobiográficas:

Vemos nesse paradoxo o germe da Teoria da Relatividade Restrita. Hoje todos sabem que as tentativas de esclarecer satisfatoriamente esse paradoxo estariam condenadas ao fracasso enquanto o axioma do caráter absoluto do tempo, ou da simultaneidade, estivesse enraizado no inconsciente.

No primeiro momento, o motociclista se move em relação a  $S_1$  com velocidade de módulo menor do que  $c$ , ( $v_{c_1} < c$ ). Nesse instante, um observador em repouso em relação a  $S_1$  concluiria que ambos se movem para a direita com velocidades de módulos diferentes. Porém o motociclista (em repouso em relação a  $S_2$ ) observa o solo se movendo para a esquerda com o módulo de sua velocidade igual a  $v_{c_1}$  e o feixe de luz se movendo para a direita com o módulo de velocidade igual a  $c - v_{c_1}$ . No segundo momento do EP, da mesma forma em que ocorreu no experimento anterior, do motociclista e o ônibus, o motociclista persegue o feixe de luz em um movimento acelerado até que, em relação a  $S_1$ , as velocidades de ambos se igualem, ou seja,  $v_{c_2} = c$ , a partir deste momento ambos seguem com velocidades constantes.

Posteriormente, mudamos o referencial para o do motociclista ( $S_2$ ). Para esse referencial novamente buscamos atribuir o estado de movimento dos outros dois, nesse caso,  $S_1$  e  $S_3$ , o solo

e o feixe de luz, respectivamente. Nesta configuração, o que o motociclista observa é o solo se movendo para a esquerda com velocidade de módulo igual a  $v_{c_2} = c$ , e o feixe de luz com velocidade nula  $c = 0$ . Como o feixe é compreendido pela eletrodinâmica de Maxwell como uma sucessão de campos elétrico e magnético variáveis espacialmente e temporalmente, o que o motociclista observaria nesse caso seria o campo eletromagnético independente do tempo, porém com oscilação espacial, o que num primeiro momento é inconsistente com as equações de Maxwell.

Segundo o princípio da relatividade os dois referenciais deveriam ser equivalentes, em outras palavras, as mesmas leis físicas deveriam ser formuladas por um observador em repouso em relação a  $S_1$  (solo) e outro em repouso em relação a  $S_2$  (motociclista). Como demonstrado anteriormente, esta lei deveria ser tão conclusiva a ponto de ter como consequência a impossibilidade de se afirmar se é o motociclista que se move para a direita (com módulo de velocidade igual a  $v_{c_2}$ ) ou a estrada para a esquerda (também com módulo de velocidade igual a  $v_{c_2}$ ).

Essa é uma lei facilmente demonstrável (como já foi feito neste trabalho) e que na época da formulação deste EP já era muito bem estabelecida na ciência. Porém, como se trata do movimento de um observador (motociclista) em relação a um feixe de luz, na época já existia outra lei demonstrável e bem estabelecida para tal, que se trata da Teoria Eletromagnética de Maxwell. Essa teoria diz que a luz pode ser compreendida como uma onda eletromagnética, que por sua vez é constituída por campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo e no espaço.

Reside nas considerações feitas até aqui o subsidio para que se possa compreender de que forma se estabelece o paradoxo neste EP. Esse paradoxo surge da aparente incompatibilidade entre o Princípio da Relatividade e as Leis de Maxwell para o eletromagnetismo. Ou seja, como demonstrado, para um observador em repouso em relação a  $S_1$  a onda de luz viaja com velocidade  $c$ , e ele naturalmente observa uma sucessão de campos eletromagnéticos variáveis no tempo e no espaço. Porém, um observador em repouso em relação a  $S_2$  (motociclista) percebe a onda de luz com velocidade nula, o que tem como consequência que ele observa o campo eletromagnético invariável no tempo, porém com oscilação espacial, toda via, as equações de Maxwell proíbem a existência de tal campo. Essas afirmações entram em contradição com o princípio da relatividade, pois, segundo ele, as leis da Física deveriam ter a mesma forma em qualquer referencial inercial.

Uma forma de resolver a situação aparentemente paradoxal é assumindo que a velocidade da luz no vácuo não depende do referencial. Por mais que Einstein não mencione

esse EP no artigo de 1905, ele traz essa consideração anos mais tarde em suas notas autobiográficas. Einstein afirma que o postulado da constância da velocidade da luz pode ser entendido como um dos pilares da relatividade restrita e tem a potencialidade de resolver a situação aparentemente paradoxal. Para resolver o problema devemos assumir como sendo impossível realizar tal feito, ou seja, é impossível qualquer observador igualar a sua velocidade a da luz no vácuo. O postulado apresentado por Einstein em 1905 é o seguinte: “[...] a luz, no espaço vazio, se propaga sempre com uma velocidade determinada, independentemente do estado de movimento da fonte luminosa” (LORENTZ; EINSTEIN; MINKOWSKI, 1958). Por se tratar de um postulado ele não pode ser demonstrado por derivações lógicas, porém se constitui em uma ideia aceita no meio científico e várias consequências da TRR podem ser derivadas a partir dele.

#### b) Elevador de Einstein

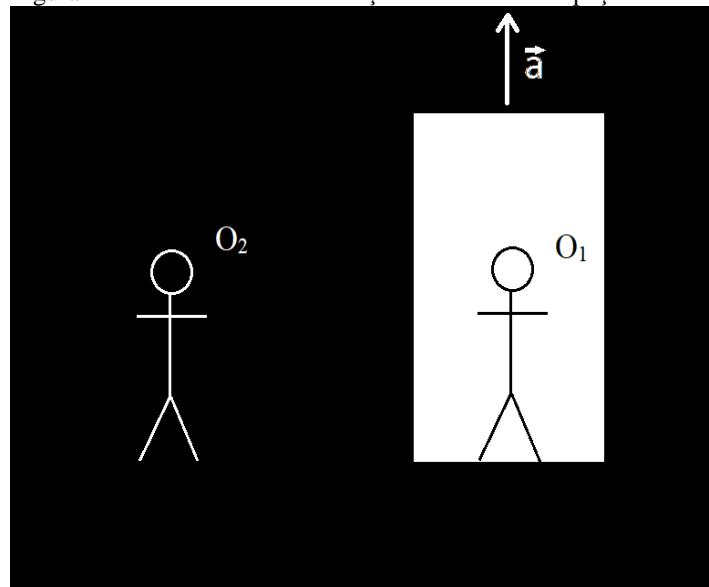
A TRR surge das tentativas de conciliar alguns fundamentos da Física Clássica com a eletrodinâmica de Maxwell. Uma das consequências dessa teoria é que nenhuma informação pode se propagar com velocidade maior do que a da luz no vácuo. Essa afirmação traz à tona outros aspectos aparentemente incompatíveis, agora, entre a TRR e a Teoria da Gravitação Universal de Newton. Uma incompatibilidade evidente é que esta última explica o fenômeno gravitacional como sendo uma força que age a distância, e que qualquer alteração na configuração dessa força seria percebida simultaneamente em todas as partes do Universo. Essa afirmação implica no fato de que a informação sobre a alteração da força gravitacional teria velocidade infinita, todavia, se a TRR proíbe que qualquer informação se propague com velocidade superior à da luz no vácuo, então, temos uma incompatibilidade evidente entre as duas alegações.

A solução desse problema teve consequências profundas na forma como se entendia o Universo até então. A generalização da TRR para campos gravitacionais levou o nome de “Teoria da Relatividade Geral”, que se constituiu como uma nova teoria da gravitação. Um dos seus pilares é o princípio da equivalência, que trata da equivalência entre massa inercial e gravitacional. Para ilustrá-lo, Einstein costumava utilizar um EP que mais tarde ficou conhecido como “o elevador de Einstein”.

O famoso experimento de Einstein consiste em imaginar uma caixa grande (elevador) com um observador situado em seu interior -  $O_1$  e outro em seu exterior -  $O_2$ , sistemas de referência  $S_1$  e  $S_2$ , respectivamente. Todo o sistema encontra-se flutuando em uma área

significativamente grande de espaço vazio, longe suficientemente de qualquer massa a ponto de poder ser considerado como um corpo de referência inercial. O observador  $O_1$  possui, dentro da caixa, instrumentos que lhe permitem realizar algumas experiências mecânicas. Suponhamos que, no centro do teto da caixa, esteja preso um gancho com uma corda, pela qual um ser esteja puxando a caixa para cima com uma força constante. Em virtude da força aplicada, a caixa começa a se mover, para cima, em um movimento uniformemente acelerado. A proposta de Einstein reside em compreender os fenômenos que ocorrem com  $O_1$  em relação à caixa, de acordo com observadores,  $O_1$  e  $O_2$ , em repouso em relação a dois referenciais distintos,  $S_1$  e  $S_2$ , respectivamente. A situação proposta é ilustrada na Figura 14.

Figura 14 - Elevador com aceleração constante no espaço “vazio”.



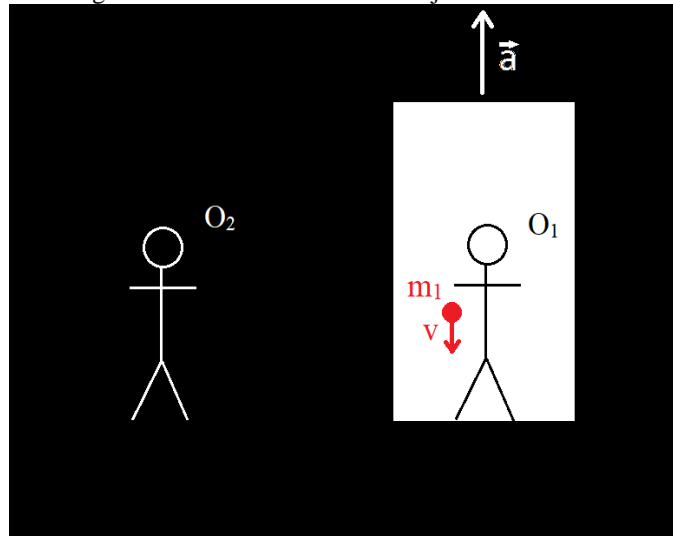
Fonte: Autor, 2018.

O observador  $O_2$ , em repouso em relação a  $S_2$ , atribui todos os eventos que ocorrem dentro da caixa à sua aceleração. Porém, como o observador  $O_1$ , que se encontra dentro da caixa, interpreta o que está acontecendo? Quem transmite a aceleração a  $O_1$  é o piso, por meio de uma pressão exercida por este em seus pés. Consequentemente ele precisa absorver essa pressão com as pernas para não cair no sentido do chão, exatamente o que é necessário fazer quando se está em repouso na superfície da Terra. Aponta-se aqui que se ele abandonasse um objeto, que até então estivesse segurando com a mão, a aceleração do elevador deixaria de ser transmitida a esse objeto, o que o faria se aproximar do chão com um movimento relativamente acelerado. Se  $O_1$  realizar o mesmo experimento com corpos de massas diferentes, inevitavelmente, a taxa com que esses corpos se aproximam do chão será a mesma, já que esta



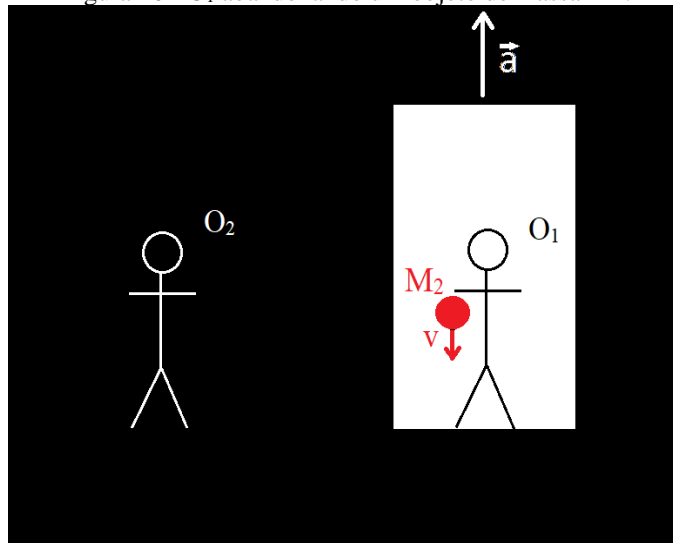
não depende da massa dos corpos abandonados, e sim da aceleração do elevador, conforme ilustram as Figuras 15 e 16.

Figura 15 -  $O_1$  abandonado um objeto de massa  $m_1$ .



Fonte: Autor, 2018.

Figura 16 -  $O_1$  abandonando um objeto de massa  $M_2$ .



Fonte: Autor, 2018.

Como o observador  $O_1$  conhece as leis da Física Clássica sobre um campo gravitacional, ele conclui que os eventos são o resultado da ação deste e que, por sua vez, ele e o elevador estão em repouso nesse campo. Nesse momento,  $O_1$  se faz a seguinte pergunta: Se o elevador se encontra em um campo gravitacional, por que não está caindo neste campo? Buscando indícios para responder a essa pergunta, ele percebe que, no teto do elevador, existe um gancho com uma corda tensionada e conclui, obviamente, que é essa corda que mantém o elevador suspenso e em repouso nesse campo gravitacional.

Nessa etapa do EP, Einstein (1999, p. 59) questiona:

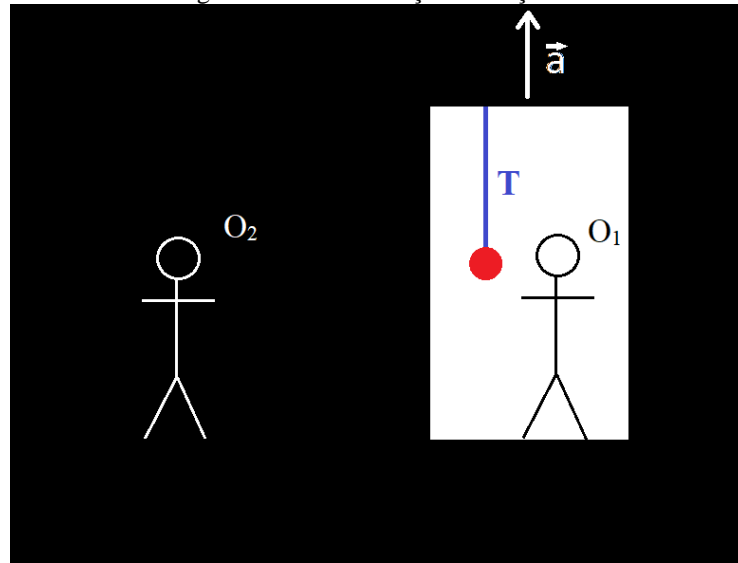
Temos o direito de zombar do homem dentro da caixa e dizer que sua conclusão está errada? Se quisermos ser coerentes, acredito que não podemos fazê-lo; temos que reconhecer, pelo contrário, que sua maneira de ver as coisas não contraria nem a razão nem as leis conhecidas da mecânica. Mesmo que a caixa esteja acelerada em relação ao espaço galileano que consideramos inicialmente, podemos, no entanto, considerá-la como em repouso. Temos, portanto, uma boa razão para estender o princípio da relatividade a corpos de referência acelerados uns em relação aos outros, e ganhamos assim um poderoso argumento em favor de um postulado da relatividade geral.

Com essas considerações, em outras palavras, Einstein busca demonstrar que é impossível fazer uma distinção entre um sistema que efetua um movimento uniformemente acelerado e outro submetido à ação de um campo gravitacional uniforme. Isso tem como consequência óbvia, que as mesmas leis da Física são válidas para os dois sistemas, o que é uma forma elegante de demonstrar a razão pela qual se pode estender o princípio da relatividade a corpos de referência acelerados uns em relação aos outros. Nesse EP, reside uma demonstração física do princípio da equivalência entre massa inercial e gravitacional (EINSTEIN, 1999).

O princípio da equivalência é consequência de uma propriedade intrínseca do campo gravitacional, que consiste em conferir a todos os corpos, independentemente de sua massa, composição ou qualquer outra propriedade, a mesma aceleração. Essa afirmação deve ser entendida igualmente à de que a massa inercial e a gravitacional precisam ser equivalentes. Para ilustrar essa ideia, em sua obra “*A Teoria da Relatividade Especial e Geral*” Einstein sugere que o observador  $O_1$  realize outro EP dentro do elevador.

Podemos imaginar que  $O_1$  prenda uma corda na face interna do teto do elevador, e que na outra extremidade desta amarre um corpo de massa  $m$ . Por consequência desse corpo, será observado que a corda ficará esticada por uma tensão  $T$ , conforme é apresentado a seguir na Figura 17.

Figura 17 - Determinação da tração T.



Fonte: Autor, 2018.

Com base nessas considerações, questiona-se  $O_1$  e  $O_2$  sobre a causa da tensão  $T$  na corda.  $O_1$ , observando os eventos em repouso em relação a  $S_1$ , dirá, imediatamente, que a tensão na corda ocorre porque o corpo experimenta a ação de um campo gravitacional, o que gera uma força para baixo. A tensão na corda equilibra essa força, e o que determina essa tensão é a massa gravitacional do corpo suspenso pela corda, ou seja, a tensão  $T$  da corda pode ser definida, simplesmente, como:

$$T = m_g \times g \quad [1]$$

Onde “ $T$ ” é a tensão na corda, “ $m_g$ ” é a massa gravitacional do corpo suspenso e “ $g$ ” é a aceleração gravitacional no local.

Porém, para o observador  $O_2$ , que flutua livremente no espaço em repouso em relação a  $S_2$ , a tensão na corda tem outra causa. Ele irá concluir que, como a corda está fixa no teto da caixa, ela será forçada a acompanhar o seu movimento acelerado e, conseqüentemente, transmitirá esse movimento ao corpo suspenso. Por conseqüência, a tensão na corda terá, justamente, o valor para produzir essa aceleração no último. Por fim, o observador  $O_2$  concluirá que, o que determina o valor da tensão na corda é a massa inercial do corpo suspenso, podendo esta ser definida da seguinte maneira:

$$T = m_i \times a \quad [2]$$

Onde “ $T$ ” é a tensão na corda, “ $m_i$ ” é a massa inercial do corpo suspenso e “ $a$ ” é o módulo da aceleração vertical da caixa.

Igualando as equações 1 e 2, tornamos evidente a demonstração de que, como os módulos de “ $a$ ” e “ $g$ ” são iguais, então, conseqüentemente, “ $m_i$ ” precisa ser inegavelmente equivalente a “ $m_g$ ”. Essas considerações demonstram, de forma simples, como as conclusões acerca da extensão do princípio da relatividade para um campo gravitacional têm como consequência a afirmação da igualdade entre massa inercial e gravitacional.

Por meio da incursão realizada nesta seção frente a descrição de episódios da história da ciência foi possível identificar e descrever as potencialidades dos EPs para a construção e divulgação do conhecimento científico. Isso leva a questionamentos importantes que nos dedicaremos a discutir nos próximos capítulos, tais como: sendo os EPs aceitos e amplamente utilizados no meio científico, podemos também nos servir deles em situações didáticas no ensino de Física? Quais as contribuições de sua utilização para a aprendizagem de conceitos de Física? Esses e outros questionamentos serão articulados ao longo da continuação da presente pesquisa, o que obviamente não significa que se deseje responder a todas as questões, mas introduzir discussões sobre essa temática, no intuito de instigar novas pesquisas que possam, cada vez mais, fortalecer nossa compreensão acerca da estrutura e da utilização dos EPs, tanto no meio científico como em situações didáticas. Antes, porém, vamos fazer uma incursão pela TAS considerada a teoria de referência do presente estudo com relação a discussão sobre as contribuições dos EPs para a aprendizagem em Física.

## 4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Os pressupostos teóricos que subsidiam a presente pesquisa em sua etapa empírica e vinculada a análise das contribuições dos EPs para aprendizagem em Física, estão fundamentados na TAS, na voz de seu precursor David Paul Ausubel e de autores que têm colaborado na ampliação e divulgação dessa teoria. Nesse contexto, apresentamos, no presente capítulo, as especificidades desse marco teórico, circunscrito em seus principais conceitos e no modo como essa perspectiva teórica tem se relacionado com os processos educativos.

### 4.1 Discussões iniciais

Em 1963, David Paul Ausubel (1918-2008) apresenta a primeira versão de uma teoria cognitivista para a aprendizagem, em oposição à aprendizagem verbal, por memorização, presente em muitos dos discursos acadêmicos da época. O manuscrito, publicado naquele ano, sob o título “*The psycgology of meaningful verbal learnig*”, traz como conceito central a aprendizagem significativa, que, segundo o autor, é aquela decorrente de um processo em que o novo conhecimento se relaciona, de forma não arbitrária e substantiva (não literal), com elementos existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Para ele, a psicologia educacional deveria se concentrar na busca de alternativas que permitissem facilitar a aprendizagem das disciplinas escolares, o que demandaria, de uma parte, prestar atenção nos conhecimentos provenientes da psicologia necessários para dar conta desses processos e, de outro, identificar os princípios e as premissas procedentes das teorias de aprendizagem que podem garantir o significado do que está sendo aprendido. Nessa perspectiva, Ausubel infere um conjunto de aspectos que visam conhecer e explicar as condições e propriedades da aprendizagem e que estão vinculadas às mudanças cognitivas estáveis e decorrentes dos significados construídos individual e socialmente.

Em suas primeiras discussões sobre a teoria, o autor anuncia dois critérios básicos para que a aprendizagem possa ser significativa, nos quais pauta sua discussão: (1) o aprendiz precisa ter uma predisposição para aprender significativamente; e (2) a tarefa (ou material) de aprendizagem precisa ser potencialmente significativa. Em outras palavras, o aprendiz precisa estar disposto a aprender, devendo existir uma intencionalidade para relacionar substancialmente e não arbitrariamente determinado conteúdo. Nesse sentido, mesmo que a tarefa ou material de aprendizagem seja potencialmente significativa, se o estudante se esforçar para apenas decorá-la mecanicamente (devido à pressão de uma posterior avaliação, entre

outros fatores), a aprendizagem não será significativa, pelo menos em um primeiro momento, o que não necessariamente impede que ela se torne mais adiante. No que diz respeito ao segundo critério, Ausubel define que, para uma tarefa, ou material de aprendizagem ser potencialmente significativa, ela deve partir dos conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, ou seja, precisa ser capaz de estabelecer relações com esse conhecimento já existente de forma substantiva e não arbitrária.

Amparado nesses pressupostos, o autor discute sua visão sobre aprendizagem e como ela pode ser concretizada no contexto escolar de modo a favorecer uma aprendizagem duradoura e significativa para os estudantes. As primeiras reflexões acerca dessa perspectiva teórica são consideradas a visão clássica da TAS e estão associadas às obras publicadas em 1963 e 1968. Posteriormente, Ausubel amplia essas discussões, particularmente quanto ao aspecto da assimilação, estabelecendo o que conhecemos como “Teoria da Assimilação”.

No Brasil, a TAS toma consistência nos anos de 1970, ainda em sua visão clássica, especialmente a partir dos estudos do pesquisador do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dr. Marco Antonio Moreira. Seus estudos dão conta de trazer para o contexto da pesquisa nacional contribuições dessa teoria no âmbito do ensino de Física e, atualmente, pode ser considerado uma referência quando se trata da TAS.

Tais perspectivas – tanto a ampliação dada pelo próprio Ausubel, como a Teoria da Assimilação, foram incorporadas às discussões que seguem e serviram de referência para a estruturação e a análise do estudo piloto realizado na tese e vinculado aos EPs. Na sequência, passamos a discutir tais aspectos com base nas obras *Psicología educativa: um punto de vista cognoscitivo* (1983)<sup>10</sup>, *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva* (2003)<sup>11</sup> e *Teorias de aprendizagem* (2016)<sup>12</sup>.

## 4.2 Aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica

A ideia fundamental da TAS é a aprendizagem significativa baseada nas duas condições anunciadas por Ausubel e mencionadas anteriormente: a predisposição para aprender significativamente e a existência de uma tarefa ou um material potencialmente significativo. De forma geral, todo processo de aprendizagem deve resultar em uma relação substantiva (não

---

<sup>10</sup> A obra original, de autoria de David Paul Ausubel, Joseph Donald Novak e Helen Hanesian, intitula-se *Educational Psychology: a cognitive view* e foi publicada em 1968.

<sup>11</sup> A obra original, de autoria de David Paul Ausubel, intitula-se *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view* e foi publicada em 2000.

<sup>12</sup> Obda de autoria de Marco Antonio Moreira.

literal) e não arbitrária da nova informação com algum conhecimento ou corpo de conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Nesse entendimento, Ausubel infere que a aprendizagem significativa amplia e reconfigura ideias existentes na estrutura cognitiva, possibilitando ao indivíduo relacionar e acessar os conhecimentos. No contexto escolar, e a exemplo dos cognitivistas, o autor pauta sua tese na importância de o professor identificar os conhecimentos que os estudantes possuem e, a partir deles, apresentar os novos. Em outras palavras, o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe, portanto, cabe ao professor determinar isso e ensinar de acordo (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983).

Essa concepção de aprendizagem, que se tornou um *slogan* da perspectiva teórica ausubeliana, está apoiada no entendimento de que há um conhecimento já significativo na estrutura cognitiva do aprendiz, o qual deve ser resgatado para ancorar o novo conhecimento, que, por sua vez, será modificado à medida que se tornar significativo para ele. Em outras palavras, Ausubel defende que a aprendizagem significativa representa um processo de interação da nova informação com uma estrutura específica de conhecimento existente no sujeito que aprende. Essa estrutura é denominada de “subsunçor” e representa um conceito, uma ideia, uma proposição já presente na estrutura cognitiva e que poderá servir para ancorar a nova informação, de modo a adquirir significado para o sujeito.

Moreira (2016) salienta que, nessa perspectiva, o novo conhecimento, ao interagir com os já existentes – os subsunçores –, não se restringe a um aumento de conhecimento, mas a um processo que abrange, também, modificações na estrutura cognitiva. Em suas palavras: “Há, pois, um processo de interação através do qual conceitos mais relevantes e inclusivos interagem com o novo material servindo de ancoradouro, incorporando-o e assimilando-o, porém, ao mesmo tempo, modificando-se em função dessa ancoragem” (p. 8).

Conforme o autor, os subsunçores representam os aspectos relevantes da estrutura cognitiva que são ativados e interagem com o novo conhecimento e que se tornam mais bem elaborados, instáveis, diferenciados e inclusivos. Dessa forma, à medida que o aprendiz relaciona significativamente esses mesmos subsunçores com novos conhecimentos, eles ficam mais abrangentes, bem elaborados e cada vez mais eficientes no sentido de servirem como novos ancoradouros para outros conhecimentos a serem aprendidos no futuro.

Associada ao conceito de aprendizagem significativa, Ausubel, Novak e Hanesian (1983) trazem a ideia de aprendizagem mecânica ou por repetição, a qual, conforme inferem os autores, ocorre quando a tarefa de aprendizagem se constitui basicamente de associações arbitrárias e/ou quando o aprendiz não possui conhecimentos prévios relevantes (subsunçores)

e necessários para tornar a tarefa potencialmente significativa, ou, alternativamente, se ele simplesmente a internaliza dessa forma.

Nas palavras de Moreira (2016, p. 9):

Em Física, como em outras disciplinas, a simples memorização de fórmulas, leis e conceitos pode ser tomada como exemplo típico de aprendizagem mecânica. Talvez aquela aprendizagem de “última hora”, de véspera de prova, que somente serve para a prova, pois é esquecida logo após, caracterize também a aprendizagem mecânica. Ou, ainda, aquela típica argumentação de aluno que afirma ter estudado tudo, e até mesmo “saber tudo”, mas que, na hora da prova, não consegue resolver problemas ou questões que impliquem em usar e transferir esse conhecimento.

Na comparação entre aprendizagem significativa e mecânica, Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 37, tradução nossa) destacam que, em se tratando da sala de aula, é “evidente que a aprendizagem significativa é mais importante que a aprendizagem por repetição”. Salientam, ainda, que o fato de a aprendizagem significativa ser mais importante não corresponde a dizer que a aprendizagem mecânica (ou por repetição) ocorre sem qualquer mobilização cognitiva. Nela pode haver associações cognitivas, todavia, não da mesma forma que na aprendizagem significativa, ou seja, essas associações são, geralmente, arbitrárias e/ou literais.

Os mesmos autores ressaltam que a aprendizagem escolar muitas vezes se aproxima do repetitivo, por exemplo, a aprendizagem dos “[...] símbolos das letras na leitura, o vocabulário de um idioma estrangeiro, os nomes de objetos e conceitos determinados, e os símbolos utilizados para representar os elementos químicos” (1983, p. 37, tradução nossa). As formas de aprendizagem mencionadas pelos autores podem ser classificadas como representações, e, de modo geral, as palavras ou símbolos escolhidos para representar os objetos, sons, abstrações, etc. são meramente arbitrários. Por exemplo, não existe uma razão para que a combinação de sons produzidos ao se pronunciar a palavra “cachorro” seja usada para representá-lo, senão puramente arbitrária. Já o entendimento dos critérios para que se possa considerar um cachorro como tal e saber que existem várias espécies de cachorro, ou que a palavra “cachorro-quente” representa um objeto diferente do animal “cachorro”, passa a promover mais relações de significado na estrutura cognitiva. Em outras palavras, a aprendizagem de equivalências representativas pode não ser puramente mecânica, o que leva Ausubel (1983) a inferir que a aprendizagem mecânica (por repetição) se trata de uma forma mais primitiva de aprendizagem significativa. Nesse entendimento, a aprendizagem mecânica pode ser – e o é, em muitos casos – uma etapa no percurso da aprendizagem significativa.



### 4.3 Aprendizagem por recepção e por descoberta

Ausubel defende a ideia de que existem princípios gerais acerca da aprendizagem significativa nas salas de aula, o que possibilita a elaboração de uma teoria razoável sobre o processo de aprendizagem. A obra *Psicología educativa: um punto de vista cognoscitivo* traz à tona a ideia de que, no passado, a psicologia educativa apresentava pouca ou nenhuma relação com a sala de aula, pois as pesquisas se fundamentavam muito na aprendizagem de animais, e essa era basicamente dada por recepção, condicionamento ou aprendizagem instrumental, entre outros tipos de aprendizagem simples. Com o passar do tempo, observou-se que esses tipos não se relacionavam em sua essência com a maioria dos processos de aprendizagem real com humanos no que diz respeito ao contexto escolar. Na obra é definida duas categorias, ou dimensões gerais de aprendizagem escolar, a saber: “a dimensão repetição-aprendizagem e a dimensão recepção-descoberta” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 17, tradução nossa).

Historicamente, identificamos certa confusão ao se considerar que toda aprendizagem por recepção seria equivalente à repetição ou aprendizagem mecânica, isto é, não significativa. Na mesma linha, teríamos que qualquer aprendizagem por descoberta estaria associada a uma aprendizagem significativa. Na verdade, segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1983), todas essas categorias de aprendizagem podem ser significativas ou não, ou ao menos ter certo grau de significatividade, desde que elas cumpram os critérios para tal, conforme já referido neste texto.

Na aprendizagem por recepção, apresentamos o conteúdo em sua forma final ao estudante, utilizando-se qualquer tipo de ferramenta. A condição para que a aprendizagem seja significativa é que ele consiga relacionar esse conteúdo, de forma ativa e significativamente, com elementos relevantes de sua estrutura cognitiva. Ele também deve retê-lo para recordá-lo ou reconhecê-lo em momentos futuros, bem como para utilizá-lo como base para a aprendizagem de um novo conhecimento relacionado. Os autores destacam, ainda, que a maioria dos processos de aprendizagem em sala de aula, principalmente com alunos de maior idade, se dá por recepção, por ser a forma mais direta e simples de se aprender um conteúdo novo.

No que diz respeito à aprendizagem por descoberta, o conteúdo a se aprender deve ser descoberto de maneira independente, antes que possa ser assimilado na estrutura cognitiva. Trata-se, nesse sentido, de reorganizar os conceitos já existentes na estrutura cognitiva, a fim de elaborar hipóteses ou proposições. À medida que se comparam as hipóteses ou proposições

com os resultados do processo de descoberta, torna-se possível elaborar ou descobrir um novo conhecimento. Esse processo, no geral, leva muito mais tempo do que a aprendizagem por recepção e depende de variáveis distintas. Ou seja, o processo de descoberta envolve habilidades que não necessariamente estão atreladas aos conhecimentos acerca do conteúdo existentes na estrutura cognitiva do estudante. Essas variáveis podem estar relacionadas, por exemplo, a habilidades em manusear instrumentos, à curiosidade, à persistência, à capacidade de resolver problemas, à tolerância a frustrações, etc. Esses argumentos também podem servir de justificativa para a ideia de Ausubel de que, na maioria dos casos, a aprendizagem escolar se dá por recepção, o que não significa que no processo de descobrimento não possa ocorrer a aprendizagem significativa de novos conceitos. Outro argumento é que se trata de uma tarefa praticamente impossível e desnecessária o estudante ter que redescobrir todos os conhecimentos inerentes a uma determinada disciplina.

A aprendizagem por descoberta pode ser significativa, desde que obedeça às premissas básicas que a caracterizam. Esse método também pode se mostrar bastante adequado para finalidades como, por exemplo, a aprendizagem de procedimentos de investigação científica de determinada disciplina, ou de práticas experimentais voltadas ao descobrimento de novas grandezas e/ou propriedades da natureza (MOREIRA, 2016).

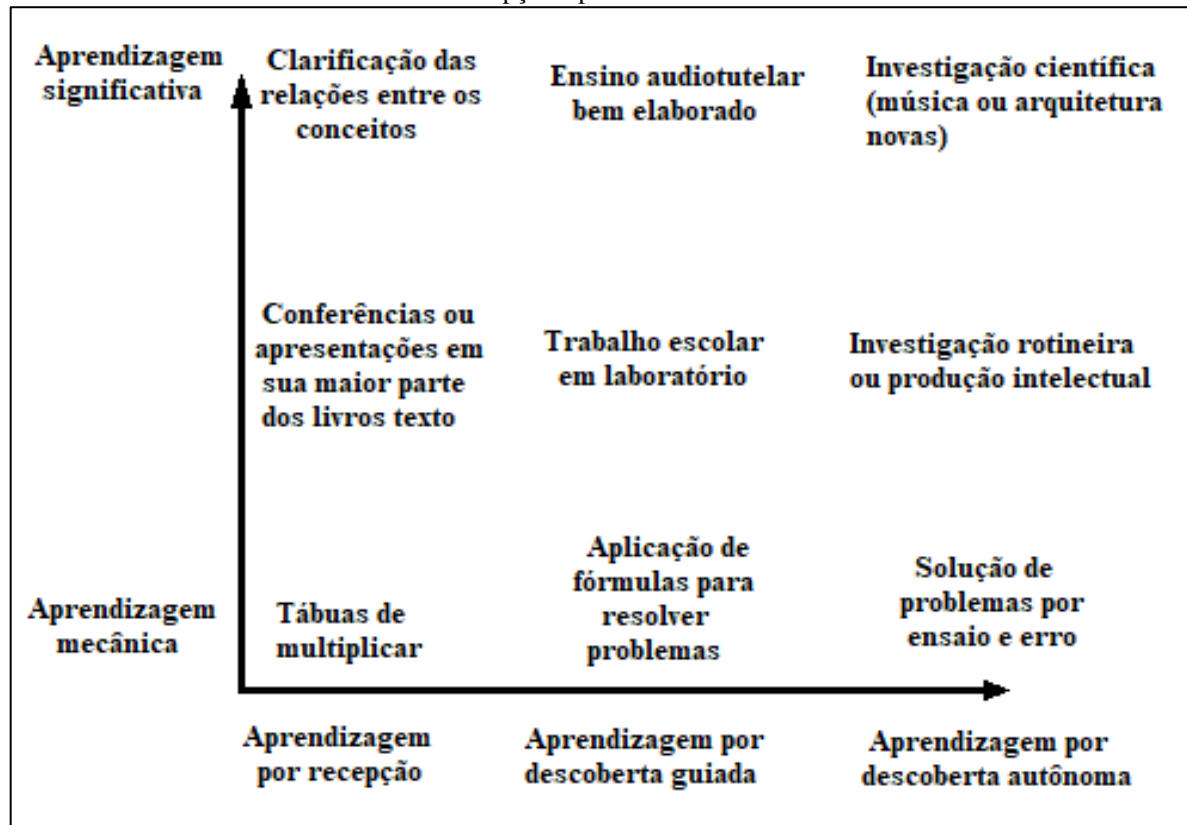
Independentemente de se tratar de aprendizagem por recepção ou descoberta, uma questão levantada por Ausubel, e a qual contempla uma dificuldade comum que pode ocorrer ao se tentar classificar os tipos de aprendizagem, é que as aprendizagens, significativa e por repetição, não são completamente dicotômicas e tampouco excludentes.

De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 34, tradução nossa):

Embora sejam qualitativamente descontínuos em termos dos processos psicológicos que subjazem a cada uma delas, e por isso não podem ser colocadas em polos opostos do mesmo contínuo, existem tipos de aprendizagem de transição que compartilham algumas das propriedades das aprendizagens antes mencionadas (por exemplo, a aprendizagem de representações e a aprendizagem dos nomes dos objetos, dos eventos e dos conceitos).

Somamos a isso a possibilidade de os dois tipos de aprendizagem ocorrerem de forma simultânea na mesma tarefa de aprendizagem, como salientado pelos autores. Todas essas ideias e limitações são igualmente válidas quando se busca diferenciar a aprendizagem por recepção da por descoberta. Para ilustrar essas ideias, Ausubel, Novak e Hanesian (1983) apresentam um diagrama (Figura 18), onde, de forma simplificada, mostram algumas dessas relações entre os tipos de aprendizagem supracitados.

Figura 18 - Diagrama da aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica em relação à aprendizagem por recepção e por descoberta.



Fonte: Adaptada de Ausubel, Novak e Hanesian, 1983, p. 35 - tradução nossa.

Por meio do diagrama, podemos observar com clareza a ideia da TAS no que diz respeito à distinção entre os tipos de aprendizagem. As aprendizagens por recepção e descoberta são colocadas de forma ortogonal em relação às aprendizagens por repetição (mecânica) e significativa. Essa maneira de dispor os tipos de aprendizagem no diagrama ilustra o que foi mencionado anteriormente, ou seja, dependendo da tarefa de aprendizagem, ela pode abarcar concomitantemente mais de um tipo de aprendizagem.

Nesse sentido, independentemente de o método ser expositivo (aprendizagem por recepção) ou guiado à descoberta, a aprendizagem pode ser ou não significativa, ou, ainda, pode estar em uma região de transição entre aprendizagem mecânica e significativa. Por certo, alguns conhecimentos potencialmente significativos ensinados por meio da exposição verbal podem produzir aprendizagem repetitiva. No entanto, esse resultado não é inerente ao processo expositivo, e sim ao seu mau uso, que não satisfaz as condições necessárias para que a aprendizagem possa ser significativa.

No que diz respeito à aprendizagem por descoberta, podemos aplicar, basicamente, o mesmo raciocínio. Por exemplo, se uma atividade realizada em laboratório for conduzida da mesma forma que se segue uma receita de cozinha, sem compreender os fundamentos teóricos

e metodológicos envolvidos, então, o resultado provavelmente será uma aprendizagem meramente mecânica. Nesse sentido, Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 38, tradução nossa) mencionam que:

[...] deve-se reconhecer que o trabalho de laboratório e de resolução de problemas não são experiências genuinamente significativas a menos que obedçam duas condições. Primeira: devem se basear em conceitos e princípios claramente compreendidos; e segunda: as operações constituídas devem ser significativas por si mesmas.

Independentemente de a aprendizagem ser por recepção ou por descoberta, existem algumas variáveis fundamentais que influenciam e devem ser levadas em consideração ao se estudar o fenômeno da aprendizagem humana. Nessa perspectiva, e defendendo essa ideia, a TAS traz uma classificação de tais variáveis, dividindo-as em duas categorias fundamentais, a saber: categoria intrapessoal, que se constitui por fatores internos ao estudante, e categoria situacional, que se constitui por fatores que envolvem a situação de aprendizagem. Para cada uma delas, a teoria elenca uma série de variáveis constituintes.

No que se refere à categoria intrapessoal, as variáveis são as seguintes:

1. *Variáveis da estrutura cognitiva*: propriedades essenciais e organizadoras do conhecimento previamente adquirido dentro de um campo de estudo particular, que são relevantes para a assimilação de outra tarefa de aprendizagem dentro do mesmo campo. Como os conhecimentos de uma matéria tendem a estar organizados em forma de sequência e hierarquicamente, o que o indivíduo já sabe dentro de um dado campo, assim como o grau em que sabe, influencia obviamente na disposição pessoal para novas aprendizagens relacionadas.
2. *Disposição do desenvolvimento*: o tipo peculiar de disposição que reflete a fase de desenvolvimento intelectual do aluno, assim como as capacidades e modalidades do funcionamento intelectual nessa fase. A dotação cognitiva de um aluno de quinze anos de idade o prepara evidentemente para outros tipos de tarefas de aprendizagem, impróprias para os de seis a dez anos de idade.
3. *Capacidade intelectual*: o grau relativo de aptidão escolar geral do indivíduo (a inteligência geral e o nível de nitidez) e sua posição relativa a respeito das capacidades cognitivas específicas, mais diferenciadas ou especializadas. O quanto bem um aluno aprende um tema de ciências, matemática ou literatura dependerá obviamente de sua inteligência geral, de suas capacidades verbais e quantitativas e de sua habilidade para resolver problemas.
4. *Fatores motivacionais e atitudinais*: o desejo pelo saber, a necessidade de sucesso e de autossuperação, o envolvimento (interesse) em um campo de estudo determinado. Essas variáveis gerais afetam as condições relevantes da aprendizagem, como o estado de alerta, a atenção, o nível de esforço, a persistência e a concentração.
5. *Fatores da personalidade*: as diferenças individuais no nível e tipo de motivação, de ajuste pessoal, de outras características da personalidade e do nível de ansiedade, fatores subjetivos como estes têm profundos efeitos nos aspectos quantitativos e qualitativos do processo de aprendizagem (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 39, tradução nossa).

Para a categoria situacional, as variáveis elencadas são:

1. *A prática*: sua frequência, distribuição, método e condições gerais (incluído o *feedback* ou conhecimento dos resultados).
2. *A escolha dos materiais de ensino*: em função da quantidade, dificuldade, tamanho dos passos, lógica interna, sequência, velocidade e uso de assistentes didáticos.
3. *Determinados fatores sociais e de grupo*: o ambiente e o clima psicológico da sala de aula, a cooperação e a competência, a estratificação social, a exclusão cultural e a segregação racial.
4. *Características do professor*: suas capacidades cognitivas, conhecimento da matéria de estudo, competência pedagógica, personalidade e conduta (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 39-40, tradução nossa).

Cabe destacar que as variáveis intrapessoais (internas) e situacionais (externas) interagem entre si, influenciando no processo de aprendizagem do estudante. Outra maneira de classificar essas mesmas variáveis, segundo os autores mencionados, é dividindo-as nas categorias cognitiva e afetivo-social. A primeira diz respeito a fatores intelectuais relativamente objetivos, enquanto a segunda, a fatores subjetivos e interpessoais relacionados à aprendizagem. Assim como os fatores intrapessoais e situacionais interatuam na aprendizagem, as variáveis cognitivas e afetivo-sociais, aliadas, também influenciam na aprendizagem.

#### **4.4 Tipos de aprendizagem significativa**

Ausubel, Novak e Hanesian (1983) dividem a aprendizagem significativa em três tipos fundamentais: aprendizagem de representações, aprendizagem de conceitos e aprendizagem de proposições. O primeiro se aproxima, em certa medida, da aprendizagem por repetição (mecânica), uma vez que ocorre quando o indivíduo estabelece uma equivalência entre o significado de símbolos arbitrários e os seus referentes, por exemplo, objetos, eventos, conceitos, etc. A aprendizagem de representações pode ser significativa quando as proposições de equivalência representacional se relacionam de forma não arbitrária, como casos particulares de uma generalização presente na estrutura cognitiva do indivíduo.

A aprendizagem de conceitos se caracteriza pela função simbólica derivada da equivalência entre um símbolo abstrato e os atributos que o definem, regularidades ou critérios comuns entre diferentes exemplares de seu referente (PALMERO et al., 2008). Esse tipo de aprendizagem significativa ocorre de maneira mais complexa e depende de uma gama razoavelmente ampla de elementos, conforme será discutido mais adiante, quando trataremos da natureza, formação e utilização de conceitos.

A aprendizagem proposicional, por sua vez, consiste em aprender ideias expressas verbalmente, sendo estas constituídas de conceitos, correspondendo, assim, a um significado

composto. Não se trata de uma simples soma de vários conceitos, ou seja, para compreender, por exemplo, a proposição “o cachorro é um animal, e, portanto, um ser vivo”, é necessário que se compreenda o significado de cachorro, animal e ser vivo. No que diz respeito à compreensão de leis físicas, é possível identificar vários exemplos. Um deles pode ser a Lei de Coulomb para quantificar a força eletrostática, isto é, a força elétrica é diretamente proporcional ao módulo do produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Para que se possa compreender essa proposição, é necessário que se compreenda o significado de força elétrica, carga elétrica e distância.

Ao se utilizar como critério de classificação uma organização hierárquica da estrutura cognitiva Ausubel, Novak e Hanesian (1983) mostram que é possível dividir a aprendizagem significativa em três tipos: subordinada (inclusiva), superordenada e combinatória. A aprendizagem subordinada de conceitos e/ou proposições se dá quando o novo conhecimento se relaciona com proposições e/ou conceitos superordenados específicos presentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Nesse tipo de aprendizagem, o novo conhecimento se torna subordinado por ideias mais gerais e inclusivas já existentes na estrutura cognitiva. Essa categoria ainda pode ser subdividida em outras duas: subordinada derivativa e subordinada correlativa. Podemos dizer que a aprendizagem é derivativa quando o material de aprendizagem simplesmente exemplifica ou reforça uma ideia já existente na estrutura cognitiva do estudante. Quando se trata de uma extensão, elaboração ou clarificação de um limite de proposições ou conceitos já existentes na estrutura cognitiva, a aprendizagem é correlativa.

A aprendizagem superordenada ocorre quando uma nova proposição ou conceito se relaciona com ideias subordinadas específicas na estrutura cognitiva existente. Nessa categoria, o novo conhecimento se conecta com uma ampla gama de conteúdos genericamente pertinentes presentes na estrutura cognitiva, podendo ser incluído nessa estrutura. Isso ocorre, por exemplo, quando um conceito ou proposição  $X$ , mais geral e inclusivo do que  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ , é adquirido a partir destes e passa a assimilá-los. Nesse sentido,  $X$  assimila  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  e passa a ser definido por um conjunto de critérios que abrange  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ .

A aprendizagem combinatória se refere ao processo em que a nova proposição ou conceito potencialmente significativo não pode se relacionar com uma proposição ou conceito específico já existente na estrutura cognitiva do indivíduo (seja ele subordinado ou superordenado). Nesse caso, ele pode se relacionar com uma ampla gama de conteúdos em geral relevantes na estrutura cognitiva do indivíduo, permitindo promover a aprendizagem significativa. Esse tipo de aprendizagem, via de regra, se dá no processo de aprendizagem proposicional, porém, em menor escala, também pode ocorrer na aprendizagem de conceitos.

#### **4.5 Condições para a aprendizagem significativa**

De acordo com o apresentado por Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 48, tradução nossa), a “aprendizagem significativa compreende a aquisição de novos significados e, de forma inversa, estes são o produto da aprendizagem significativa”. Nesse sentido, faz-se pertinente uma análise quanto à natureza do significado em si e à sua relação com a aprendizagem significativa. Compreendendo essa relação, podem se tornar mais claras as condições necessárias para a ocorrência de tal aprendizagem.

A premissa básica da TAS reside em que ideias expressadas em nível simbólico possam se relacionar substancialmente e de forma não arbitrária com aquilo que o aluno já sabe. Inicialmente, ele precisa ter uma predisposição para aprender de modo significativo. Tendo essa intencionalidade, ele também precisa ter em sua estrutura cognitiva os conhecimentos subsunçores necessários para relacionar o novo material e/ou tarefa de estudo.

No que diz respeito à tarefa ou ao material de aprendizagem, a TAS parte do argumento de que, para ser considerado potencialmente significativo, ele precisa ser relacionável, de forma substancial e não arbitrária, com as ideias pertinentes existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Para que essa condição seja satisfeita, deve haver uma intencionalidade intrínseca no modo como o material é elaborado, estruturado e apresentado ao estudante. Ou seja, ele precisa trazer situações e/ou informações organizadas e apresentadas intencionalmente, para que ocorra essa relação não arbitrária. Esse pode se relacionar, de forma não arbitrária, seja com ideias específicas, seja com um sistema mais amplo de ideias.

Quando a TAS aponta que esse material ou a tarefa deve se relacionar de forma substancial com os conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do sujeito, isso significa que tanto a aprendizagem significativa como o significado produzido por essa relação não devem depender do uso exclusivo de signos particulares. Em outras palavras, independentemente de que se expressem os mesmos conceitos e/ou proposições por meio de sinônimos, o significado produzido deve ser o mesmo. Simplificadamente, costumamos dizer que o conteúdo não pode ser tomado “ao pé da letra”, ou seja, a significação de um determinado conhecimento não pode ser literal.

Ainda segundo o abordado pela TAS, o material ou tarefa de aprendizagem corresponde ao significado lógico, enquanto o significado produzido e já incorporado à estrutura cognitiva do aprendiz representa o significado psicológico. O significado lógico depende unicamente da natureza do material de aprendizagem e se refere ao significado que lhe é inerente. O fato desses

possuírem significados lógicos é o que define se ele pode ser considerado como potencialmente significativo. Um determinado material ou uma determinada tarefa possui significado lógico quando pode ser relacionado, de maneira não arbitrária e substancial, com as referentes ideias que se encontram dentro da capacidade humana de aprendizagem.

O significado psicológico, por sua vez, é de natureza totalmente idiossincrática. O significado psicológico surge quando o aprendiz relaciona, de forma não arbitrária e substancial, um determinado material de aprendizagem (com significado lógico) com aspectos relevantes de sua estrutura cognitiva. Nesse sentido, o significado psicológico ocorre quando um significado potencial (que pode ser oriundo de um material com significado lógico) se converte em um conteúdo novo, diferenciado e idiossincrático na estrutura cognitiva de um indivíduo em particular.

A Figura 19, adaptada de Ausubel (2003), relaciona as ideias de aprendizagem significativa, significação potencial e significado psicológico, trazendo, de maneira esquemática, as condições fundamentais para a ocorrência de cada um.

Figura 19 - Relação entre aprendizagem significativa, significação potencial e significado psicológico.

A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA ou A AQUISIÇÃO DE SIGNIFICADOS	exige	(1) Material Potencialmente Significativo	e	(2) Mecanismo de Aprendizagem Significativa
B SIGNIFICAÇÃO POTENCIAL	depende de	(1) <i>Significação Lógica</i> (a capacidade de relação não arbitrária e substantiva do material de aprendizagem com ideias relevantes correspondentes, que se situam no âmbito da capacidade de aprendizagem humana)	e	(2) Disponibilidade de tais ideias relevantes na estrutura cognitiva <i>particular</i> do aprendiz
C SIGNIFICADO PSICOLÓGICO (SIGNIFICADO FENOMENOLÓGICO IDIOSINCRÁTICO)	é o produto de	(1) Aprendizagem Significativa	ou de	(2) Significação Potencial e Mecanismo de Aprendizagem Significativa

Fonte: Ausubel, 2003, p. 73.



Ausubel (2003) diferencia a (1) aprendizagem significativa da (2) aprendizagem de material ou tarefa significativa. A primeira, como já mencionado anteriormente, depende de mais fatores do que apenas da instrução. Cabe ainda destacar que, se o material ou a tarefa for potencialmente significativo, então, a aquisição de significados estará completa mesmo antes de ocorrer qualquer tipo de aprendizagem (AUSUBEL, 2003).

O autor chama a atenção para uma distinção entre a (1) aprendizagem significativa de material ou tarefa potencialmente significativo e (2) a aprendizagem por memorização desse material ou tarefa que contém componentes já significativos. No primeiro caso, não somente os elementos constituintes são significativos, mas o material ou tarefa de aprendizagem como um todo é potencialmente significativo e o estudante apresenta disposição em aprender significativamente. Já no segundo caso, os elementos constituintes são significativos, porém, pode ocorrer que o material ou a tarefa como um todo não seja potencialmente significativo, ou, ainda, que o aprendiz não apresente disposição para aprender de forma significativa.

#### **4.6 Organizadores prévios**

Nas seções anteriores, enfatizamos a importância dos conhecimentos subsunçores no processo de aprendizagem significativa, porém, o que fazer quando não existem tais subsunçores? A TAS propõe a utilização de organizadores prévios que possam fazer uma ligação entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa aprender. Segundo essa perspectiva teórica, a utilização de tal recurso pode ser necessária quando as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva são demasiadamente gerais e não apresentam relevância e conteúdo suficientes para servir de ancoradouros do novo conhecimento a ser aprendido. O organizador prévio tem, portanto, a potencialidade de resolver esse problema, sendo relacionável tanto com as ideias proeminentes existentes na estrutura cognitiva como com as contidas no material ou tarefa de instrução.

Assim, organizadores prévios são materiais introdutórios, apresentados antes do material que precisa especificamente ser aprendido, todavia, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Nesse sentido, conforme Moreira (2016), os organizadores prévios não podem ser compreendidos como sumários ou visões gerais do assunto a ser aprendido, pois estes, geralmente, são apresentados no mesmo nível de abstração, generalidade e inclusividade do material que os segue, simplesmente destacando determinados aspectos.

Nessa perspectiva, a utilização de organizadores prévios em uma situação de aprendizagem tem como principal objetivo servir como uma ponte entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa aprender perante uma tarefa de aprendizagem. Para tanto, de acordo com o mencionado por Ausubel, Novak e Hanesian (2003), eles não só precisam ser mais gerais, abstratos e inclusivos do que aquilo que os segue, como também devem levar em consideração ideias potencialmente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Devem, além de se relacionar significativamente com esses elementos preexistentes, poder mobilizá-los, reorganizá-los, ou mesmo, modificá-los.

#### **4.7 Teoria da Assimilação**

À medida que a aprendizagem significativa ocorre, quando um novo conhecimento interage com elementos da estrutura cognitiva do indivíduo, esta se modifica, tornando-se mais amplamente diferenciada, e, por conseguinte, com potencial de interagir com uma gama cada vez maior de novos conhecimentos. A esse processo, a fim de aprofundar ainda mais a compreensão acerca da aprendizagem significativa, Ausubel deu o nome de “Teoria da Assimilação”. Essa teoria se ocupa da forma como se relacionam, de modo seletivo, as novas ideias potencialmente significativas com as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva. Ausubel (2003) vincula a Teoria da Assimilação com a sequência natural de retenção e esquecimento que ocorre na aprendizagem em longo prazo.

No processo de assimilação, as ideias novas do material de instrução ou da tarefa interagem com as ideias relevantes existentes (ancoradas) na estrutura cognitiva do indivíduo, e o principal produto dessa interação se transforma no significado dessas novas ideias introduzidas. Esses novos significados, posteriormente, são armazenados, relacionados e organizados no intervalo de retenção (memória) com as respectivas ideias ancoradas. Durante a aprendizagem significativa, Ausubel (2003, p. 8) identifica três processos de assimilação:

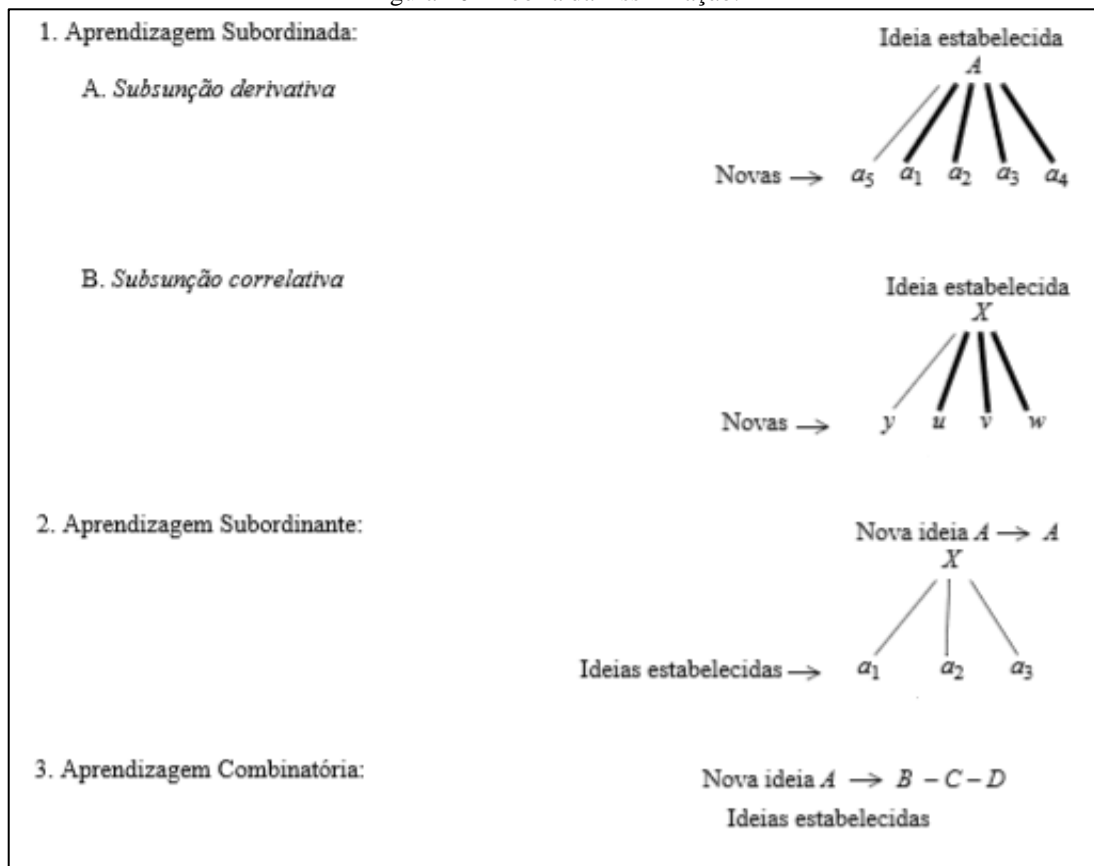
(1) ancoragem seletiva do material de aprendizagem às ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva; (2) interação entre as ideias recém-introduzidas e as ideias relevantes (ancoradas), sendo que o significado das primeiras surge como o produto dessa interação, e (3) a ligação dos novos significados emergentes com as ideias ancoradas correspondentes no intervalo de memória (retenção).

Os novos significados que emergem pelo produto das novas ideias e das já ancoradas levam a aumentar a estabilidade e a força de dissociabilidade associada, o que resulta na ligação desses novos significados com ideias ancoradas mais estáveis. Nesse processo, cumpre salientar

que as ideias ancoradas também se modificam, pela interação com as novas durante a aprendizagem, ou, posteriormente, na interação com os novos significados emergentes, aos quais elas se ligam durante o processo de armazenamento na memória.

O processo de assimilação pode ocorrer de maneiras distintas, dependentes de como ocorre a relação entre a ideia nova e as já ancoradas na estrutura cognitiva. A Figura 20 foi adaptada da obra de Ausubel (2003) e contém, simplificada, as formas como pode ocorrer o processo de assimilação.

Figura 20 - Teoria da Assimilação.



Fonte: Ausubel, 2003, p. 111.

De acordo com a figura, na primeira situação – aprendizagem subordinada associada à derivativa –, a nova ideia “a” se vincula à ideia superordenada “A”, e, nesse caso, representa uma extensão de “A”, ou seja, trata-se de um exemplo específico de “A”, ou apenas algo corroborante e ilustrativo. Nesse tipo de assimilação, não se alteram os atributos de critério de “A”, mas se reconhecem novos exemplos como sendo relevantes. No caso da aprendizagem subordinada correlativa, a nova ideia “y” é vinculada à ideia “X”, tratando-se de uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de “X”. Os atributos de critério de “y” podem ser estendidos ou modificados devido ao processo de inclusão correlativa.

Na segunda situação – aprendizagem superordenada –, as ideias estabelecidas  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  se referem a exemplos mais específicos da ideia nova “A”. Nesse caso, a ideia superordenada “A” é definida perante um novo conjunto de atributos de critério que abarcam as ideias subordinadas  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$ .

Na aprendizagem combinatória, terceiro caso, a nova ideia “A” não é nem mais inclusiva nem mais específica do que as ideias já ancoradas “B”, “C” e “D”. Nesse processo de assimilação, a ideia nova “A” possui atributos de critério em comum com as ideias “B”, “C” e “D” existentes na estrutura cognitiva do indivíduo.

#### **4.8 Diferenciação progressiva e reconciliação integrativa**

Como já foi dito anteriormente, a aprendizagem significativa decorre da interação de um novo conhecimento com outro já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A medida que a aprendizagem significativa vai ocorrendo, essa interação faz com que novos conceitos sejam desenvolvidos, elaborados e diferenciados. De acordo com a teoria de Ausubel o desenvolvimento de conceitos pode ser facilitado ao se introduzir elementos mais gerais e inclusivos em um primeiro momento. Posteriormente ele é progressivamente diferenciado, no que diz respeito a seus detalhes e especificidades. A esse princípio Ausubel dá o nome de diferenciação progressiva (MOREIRA; MASINI, 2001).

Para Ausubel o princípio de diferenciação progressiva deve ser levado em consideração ao se planejar e organizar o conteúdo de uma disciplina. Inicialmente é necessário que se identifiquem quais são as ideias mais gerais e inclusivas de uma determinada disciplina, ou parte dessa disciplina. Identificados esses elementos, é necessário que estes sejam apresentados no início, para que posteriormente possam ser progressivamente diferenciados. De acordo com Moreira e Masini (2001) ao propor isso Ausubel parte basicamente de duas hipóteses:

[...] a) é mais fácil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas; b) a organização do conteúdo de uma disciplina, na mente de um indivíduo, é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados (MOREIRA; MASINI, 2001, p. 21).

Além da programação de um conteúdo promover a diferenciação progressiva, segundo Ausubel, ela também deve explorar as relações existentes entre conceitos e proposições, no sentido de identificar, diferenças, similaridades e/ou inconsistências, reconciliando-as no

processo de aprendizagem. A essa recombinação de elementos na estrutura cognitiva Ausubel dá o nome de reconciliação integrativa (MOREIRA; MASINI, 2001).

Em suma, a diferenciação progressiva trata-se do princípio que diz que o material de aprendizagem deve ser organizado de forma que os elementos mais gerais e inclusivos sejam apresentados no início, sendo progressivamente diferenciados ao longo do processo de aprendizagem. Já a reconciliação integrativa é o princípio que afirma que a programação do material de aprendizagem deve ser realizada de forma que promova a exploração das relações existentes entre as ideias, apontando similaridades e diferenças, reconciliando incompatibilidades aparentes ou reais.

Segundo Ausubel o processo de diferenciação progressiva está mais relacionado com a aprendizagem subordinada. Ou seja, como mencionado anteriormente, na aprendizagem subordinada, principalmente na correlativa, o conceito subsunçor, mais geral e inclusivo, é constantemente elaborado e modificado, a fim de servir como ancoradouro ao novo conhecimento, ou seja, ele é progressivamente diferenciado (MOREIRA, 2016).

Já na aprendizagem superordenada e/ou na combinatória, ideias presentes na estrutura cognitiva podem ser reconhecidas como relacionadas, tomando novos significados ao se reorganizarem adquirindo novas informações. Nesse sentido, pode-se dizer que o que ocorreu foi a exploração das relações existentes entre conceitos e proposições, identificando, diferenças, similaridades e/ou inconsistências, reconciliando-as no processo de aprendizagem. A esse processo Ausubel dá o nome, como já mencionado, de reconciliação integrativa. O que leva a colocação de que a reconciliação integrativa está mais relacionada a aprendizagem superordenada e a combinatória (MOREIRA, 2016).

Cabe destacar que a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa não são processos mutuamente excludentes. Ou seja, a aprendizagem que gerar reconciliação integrativa, resultará também em diferenciação progressiva adicional de conceitos e proposições existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. A estrutura cognitiva trata-se, portanto, de um processo dinâmico que leva a organização de um determinado conteúdo. Essa organização na mente do indivíduo, segundo Ausubel, resulta em uma estrutura hierárquica, onde as ideias mais inclusivas situam-se no topo, abrangendo progressivamente conceitos e proposições menos inclusivos e mais diferenciados (MOREIRA, 2016).

#### 4.9 Retenção e esquecimento

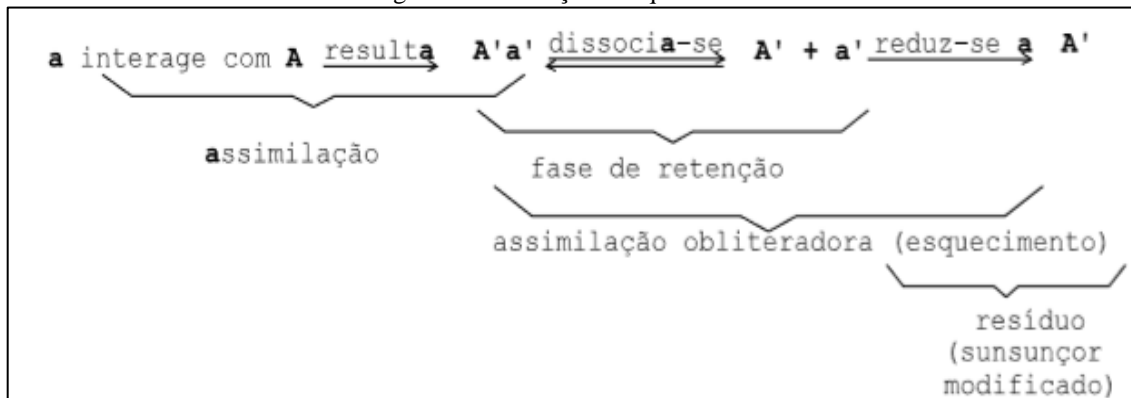
Ausubel (2003) sugere que o processo de assimilação, provavelmente, tem um papel facilitador na retenção do conhecimento. Enquanto ocorre a retenção, armazenam-se significados emergentes às ideias ancoradas correspondentes. Porém, elas podem ser dissociadas e reproduzidas separadamente em relação às ideias ancoradas por um intervalo de tempo limitado. Ao longo desse processo, quando a força de dissociabilidade tende a chegar abaixo de determinado ponto crítico, é observado que ocorre o esquecimento em relação às ideias ancoradas.

Durante o processo de retenção, os conceitos mais amplos, bem estabelecidos e diferenciados na estrutura cognitiva, servem de ancoradouro para as novas ideias a serem aprendidas, possibilitando, assim, a sua retenção. Todavia, ao longo do tempo, o significado das novas ideias tende a ser assimilado, ou reduzido, pelos significados das ideias mais estáveis já estabelecidas. A esse estágio do processo de assimilação, Ausubel denomina de “assimilação obliteradora”. Quando se inicia esse estágio da assimilação, as novas ideias se tornam progressivamente menos dissociáveis da estrutura cognitiva, até o ponto de se tornar impossível reproduzi-las isoladamente (MOREIRA, 2016). Essa fase é chamada por Ausubel de “retenção-esquecimento” e trata-se, justamente, do estágio em que a dissociabilidade entre as novas ideias e as ideias ancoradas se torna zero.

Nesse sentido, e sintetizando o exposto, podemos inferir que, logo após a ocorrência da aprendizagem significativa, a qual resulta na produção de um significado oriundo de uma interação entre uma nova ideia e sua ideia-âncora, respectivamente, inicia-se uma segunda fase da assimilação, denominada de “assimilação obliteradora”. Progressivamente, as novas informações se tornam cada vez menos dissociáveis de suas ideias-âncora, até que a dissociabilidade chegue a zero. A partir desse momento, ocorre a redução do produto interacional entre a ideia-nova e a ideia-âncora para, simplesmente, um conceito mais geral, indissociável em termos dos conceitos mais específicos dos quais foi abstraído. Portanto, o esquecimento constitui uma etapa natural da aprendizagem e da retenção significativa de novos conhecimentos.

A Figura 21, adaptada da obra de Moreira (2016), traz, de forma esquemática, o cerne da Teoria da Assimilação proposta por Ausubel (2003) e mostra como ocorrem as fases de retenção e esquecimento.

Figura 21 - Retenção e esquecimento.



Fonte: Moreira, 2016, p. 20.

A Teoria da Assimilação de Ausubel, em linhas gerais, pode-se dizer que ela se baseia na ideia de que novos significados são adquiridos por meio da interação de um novo conhecimento com conceitos ou proposições já estabelecidas na estrutura cognitiva do indivíduo. Observamos, no esquema da Figura 21, que o primeiro momento da assimilação 'a interage com A (sendo  $a$  o novo conhecimento e  $A$ , a ideia-âncora), do que resulta o produto interacional  $A'a'$ . Assim, compreende-se que a interação modifica tanto  $a$  como  $A$ , ou seja, tanto o novo conhecimento é modificado como seu subsunçor. Na fase de retenção,  $A'a'$  ainda é dissociável em  $A' + a'$ , porém, à medida que a assimilação prossegue, inicia-se a fase de assimilação obliteradora, e  $A'a'$  se reduz simplesmente a  $A'$  – nesse momento, ocorre o esquecimento. Porém, cabe destacar que isso não significa que o subsunçor volta à sua forma original, pois ele se modifica de  $A$  para  $A'$ , e, no caso,  $A'$  é chamado de resíduo ou subsunçor modificado.

No tocante à aprendizagem significativa, retenção e esquecimento, as variáveis mais importantes, estão atreladas, segundo Ausubel (2003), à própria estrutura cognitiva do indivíduo. Ou seja, as propriedades substantivas e organizacionais dessa estrutura atuam, de forma crucial, na precisão e na clareza dos novos significados emergentes, quer na recuperação imediata destes, ou em longo prazo.

Se a estrutura cognitiva for clara, estável e bem organizada, surgem significados precisos e inequívocos e estes têm tendência a reter a força de dissociabilidade ou disponibilidade. Se, por outro lado, a estrutura cognitiva for instável, ambígua, desorganizada ou organizada de modo caótico, tem tendência a inibir a aprendizagem significativa e a retenção. Assim, é através do fortalecimento de aspectos relevantes da estrutura cognitiva que se pode facilitar a nova aprendizagem e a retenção (AUSUBEL, 2003, p. 10).

Nesse sentido, deve estar no âmago do processo educacional a atitude de influenciar, deliberadamente, a estrutura cognitiva dos estudantes, com o objetivo de maximizar as chances de se alcançar a aprendizagem significativa e a retenção.

#### **4.10 Evidência de aprendizagem significativa**

O exposto até aqui apontou as potencialidades e indiscutíveis contribuições oferecidas pela TAS aos processos educacionais, porém, a identificação de que um estudante aprendeu significativamente não é tarefa simples. Ao contrário, exige um complexo entendimento do seu conceito, bem como a análise em diferentes situações e/ou tarefas. A aprendizagem significativa de determinado conhecimento implica na posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Todavia, se alguém aplicar algum tipo de teste para verificar a ocorrência dessa aprendizagem, poderá obter como resultado a verbalização de ideias memorizadas mecanicamente pelo estudante. Nesse sentido, questionamos como se poderia verificar se a aprendizagem significativa de fato ocorreu. Buscando reunir elementos para discutir essa questão, o primeiro fato a ser esclarecido é que, de acordo com a TAS, é possível apenas buscar evidências acerca da ocorrência dessa aprendizagem, ou seja, não se pode afirmar com convicção que ela se concretizou.

Por conseguinte, podemos questionar quais seriam os testes de compreensão mais adequados para buscar essas evidências de aprendizagem significativa. Ou seja, aqueles que minimizam ao máximo a probabilidade de que o estudante expresse a resposta “correta” com base em um processo de memorização mecanizada. Ausubel (2003, p. 130) alerta que “os testes de compreensão devem, no mínimo, ser expressos em diferentes linguagens e apresentados num contexto diferente do material de aprendizagem originalmente encontrado”. Uma das formas de fazer isso pode ser solicitando que os estudantes diferenciem ideias relacionadas, mas não idênticas, ou que identifiquem um conceito ou proposição dentre uma lista contendo um maior número de conceitos e/ou proposições relacionadas.

Em muitos casos, a melhor forma de buscar por evidências da aprendizagem significativa consiste na resolução de problemas. Ausubel afirma que a resolução de problemas é um método válido e prático para se avaliar a compreensão significativa de ideias, contudo, isso não equivale a dizer que um estudante que não consegue resolver determinado conjunto de problemas, necessariamente, não aprendeu significativamente os princípios por estes exemplificados. Ou seja, a resolução de problemas exige habilidades que vão além da compreensão significativa do conteúdo teórico a eles relacionado. De acordo com Ausubel,



Novak e Hanesian (1983), essas habilidades podem ser exemplificadas por poder de raciocínio, perseverança, flexibilidade, ousadia, improviso, sensibilidade aos problemas e astúcia tática, além, claro, da compreensão dos conteúdos envolvidos. Nesse caso, o fracasso ao resolver um determinado problema, ou lista de problemas, pode estar vinculado a uma deficiência em qualquer um desses fatores, e não necessariamente à falta de compreensão do conteúdo em si.

Do mesmo modo, não se pode afirmar, somente com base no sucesso na resolução de certa série de problemas, que determinado estudante aprendeu significativamente os conteúdos a eles relacionados. Ou seja, o sucesso na resolução dos problemas em questão pode ser o resultado de uma aprendizagem por tentativa e erro, ou simplesmente sorte em tentativas aleatórias. Nesse caso, o sucesso ou fracasso na resolução de uma série de problemas não é argumento suficiente para se afirmar que a aprendizagem dos princípios relacionados a tais problemas foi ou não significativa. Na utilização de resolução de problemas, devemos buscar por mais informações que auxiliem na verificação da razão do fracasso ou do sucesso do estudante.

#### **4.11 Natureza, formação e utilização dos conceitos**

Por menor que seja o grau de elaboração acerca do mundo, todas as pessoas, ao buscar compreendê-lo, deparam-se com a necessidade de utilizar a conceituação e/ou a caracterização e classificação. A realidade elaborada cognitivamente por qualquer indivíduo se relaciona somente de forma indireta com as propriedades físicas por ele percebidas por meio de seus sentidos.

De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 87, tradução nossa):

A realidade, falando em sentido figurado, se percebe através de um filtro conceitual ou de categorias; isto é, o conteúdo cognoscitivo que um grupo de palavras faladas ou escritas provoca no receptor de uma mensagem é uma versão muito simplificada, abstrata e generalizada dos fatos reais do mundo físico aos quais se refere, e das experiências conscientes e reais que tais fatos produzem no narrador.

Para ilustrar essa ideia, os autores trazem o seguinte exemplo: se uma pessoa nos diz que viu uma casa, ela não está nos comunicando sua experiência real, e sim uma versão simplificada e generalizada dela, baseada no que entende como casa. A real experiência vivenciada é infinitamente mais complexa e particularizada. Inclusive, se o narrador tenta descrever com precisão todos os detalhes de sua experiência, verifica-se incapaz de fazê-lo. Seguem os autores mencionando que por mais que ele se esforce para conferir mais detalhes à

sua descrição, esta dificilmente será uma representação completa ou fidedigna da realidade, senão um conteúdo cognoscitivo modelado pelo conceito de casa existente em sua estrutura cognitiva.

Nessa perspectiva, os conceitos existentes na estrutura cognitiva de um sujeito, assim como a relação entre eles, definem, em certa medida, a sua descrição de mundo. Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 88, tradução nossa) mencionam que as pessoas experimentam psicologicamente uma representação de realidade consciente, “[...] muito simplificada, esquemática, seletiva e generalizada, em lugar de uma imagem completa e sensorialmente fidedigna dela”. A formação desses conceitos, diretamente ligados à construção consciente da realidade, dá-se pelas experiências idiossincráticas do indivíduo e pelo seu contexto cultural. Servindo-se da obra de Vigotski, os autores acrescentam que um determinado conceito idiossincrático utilizado por um indivíduo para moldar sua experiência não é necessariamente o mesmo que é culturalmente aceito de forma genérica. No entanto, essa representação da realidade, baseada em conceitos culturalmente aceitos, permite a criação de uma linguagem também culturalmente aceita por determinado grupo social, facilitando a comunicação entre os indivíduos que o constituem.

Notoriamente, essas considerações permitem, ainda:

a) o estabelecimento de construtos inclusivos e genéricos na estrutura cognitiva (e de combinações proposicionais de elos) em relação com os quais se adquirem e retêm mais eficazmente novos significados correlativos e derivativos, como parte de um corpo organizado de conhecimentos; e b) a manipulação, inter-relação e reorganização das ideias que interferem na generalização e comprovação de hipóteses e, em consequência, na resolução significativa de problemas (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 88, tradução nossa).

Os conceitos, quando se inter-relacionam de forma proposicional por membros de um grupo, permitem a uniformização e simplificação em determinado ambiente, facilitando, assim, a aprendizagem por recepção, a resolução de problemas e a comunicação entre os membros do grupo. Os conceitos, desse modo, tornam possível a aquisição de ideias abstratas sem a dependência exclusiva da experiência empírica direta. Essas ideias abstratas, todavia, não estão desvinculadas da realidade física, visto que, na maioria dos casos, consistem em modelos elaborados para melhor compreendê-la.

Com base nessas argumentações, fica evidente que existe uma relação entre aquilo que se pode chamar de realidade conceitual e a realidade física. Nas palavras de Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 89, tradução nossa): “Uma apreciação mais acertada das relações existentes entre as realidades conceituais e fenomenológica seria a de caracterizar a primeira como uma

versão esquemática e seletiva da segunda”. Nesse sentido, observa-se que os autores apontam a ideia de que a realidade conceitual denota uma realidade física objetiva, e isso determina a sua utilidade na estrutura do conhecimento, na aprendizagem, na resolução de problemas e na comunicação.

Em relação à aquisição e ao uso dos conceitos, Ausubel traz dois problemas principais, que, a saber, são: ‘Em primeiro lugar o problema de como se adquirem os conceitos e os diferentes tipos de processos psicológicos que interferem na aquisição. Em segundo lugar, está o problema, igualmente importante, da maneira como os conceitos, uma vez adquiridos, influenciam: 1. na caracterização perceptiva da experiência; 2. na aquisição e retenção, mediante aprendizagem por recepção, de novos significados conceituais e proposições; e, 3. na resolução significativa de problemas (aprendizagem por descoberta)’ (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 90, tradução nossa).

No tocante ao primeiro problema citado, cumpre enfatizar a diferenciação feita pelos autores entre formação de conceitos e a correspondente assimilação. Geralmente, a formação de conceitos se refere a um processo que ocorre em crianças de idade pré-escolar, sendo consequência de experiências empíricas concretas. Uma criança adquire o conceito de formas geométricas, por exemplo, ao interagir de maneira concreta com objetos de diferentes formas geométricas. Já o processo de assimilação ocorre com crianças de idade mais avançada, jovens e/ou adultos, em virtude da interação entre os novos significados a serem aprendidos e as ideias pertinentes já estabelecidas na sua estrutura cognitiva.

No que diz respeito ao segundo problema supracitado – ou seja, uma vez adquiridos, como os conceitos influenciam nos processos e na estrutura cognitiva do indivíduo –, a primeira forma de utilização, e também a mais simples, reside na caracterização perceptiva da experiência. Por exemplo, quando alguém observa uma árvore e compreende que se trata de um exemplar particular de uma classe geral de árvores, isso só é possível pelo fato de o indivíduo possuir, em sua estrutura cognitiva, o conceito genérico de árvore. A caracterização perceptiva também pode ser utilizada em formas mais simples de aprendizagem por recepção, quando um novo elemento é utilizado para ilustrar ou sustentar um conceito que já faz parte da estrutura cognitiva. Ainda de maneira perceptiva, um conceito existente na estrutura cognitiva pode promover uma compreensão imediata dos significados de conceitos já aprendidos, quando se apresentam em situações e contextos posteriores.

Outra forma de utilização de conceitos está relacionada à aprendizagem significativa por descoberta, ou, mais especificamente, à resolução significativa de problemas. Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 93, tradução nossa) a exemplificam mencionando:

a) tipos mais simples de operações de resolução de problemas, em que a solução do problema em questão exige somente que o aluno seja capaz de formulá-lo como caso especial de um conceito ou proposição, mais gerais e já significativos, e também os b) tipos mais complexos de resolução de problemas em que conceitos e proposições existentes devem ser estendidos, elaborados, limitados ou reorganizados de modo que satisfaçam os requisitos particulares da relação de meios a fins que o aluno deve descobrir.

A resolução de problemas e o processo de formação e utilização de conceitos se assemelham em diversos aspectos. Por exemplo, quando uma criança em idade pré-escolar adquire um novo conceito, que geralmente se dá de forma indutiva, na verdade, trata-se de um processo de resolução de problemas. Nesse caso, os conceitos já adquiridos e significativos são mobilizados na resolução de problemas, a fim de descobrir novos conceitos. Situação análoga ocorre quando a aprendizagem de um conceito novo exige que se reorganizem os conceitos já existentes na estrutura cognitiva, isto é, esse processo pode ser caracterizado como resolução de problemas.

Todavia, Ausubel, Novak, Hanesian (1983, p. 94, tradução nossa) alertam que: “Nem toda a resolução de problemas envolve a aquisição e utilização de conceitos”. Os teóricos seguem trazendo o exemplo da aprendizagem de um labirinto, nesse caso, trata-se de uma aprendizagem perceptiva e motora, e esse tipo de resolução de problemas não está necessariamente relacionado com a aquisição e o uso de conceitos. No entanto, existe uma ampla classe de resoluções de problemas que envolvem os processos de aquisição e utilização de conceitos. Por exemplo, a caracterização perceptiva da realidade física, a inclusão derivativa e proposicional, a compreensão de símbolos anteriormente aprendidos, e, de forma geral, podemos dizer que a maioria dos processos de assimilação e uso de conceitos está relacionado à resolução de problemas, em diferentes graus de complexidade.

No que concerne aos símbolos, existe ainda uma diferenciação entre os mais simples, que se referem a acontecimentos e/ou objetos particulares, e os genéricos, que se referem a classes gerais de objetos e/ou acontecimentos. A diferença que nos interessa reside nos significados produzidos no uso de cada termo em questão. Para que se possa fazer essa diferenciação, é necessário, segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1983), analisar que tipo de conhecimento cognoscitivo o uso de cada termo evoca. Nesse sentido, os autores fazem um paralelo entre o uso dos termos conceituais em si, ou seja, é necessário reconhecer quando este é de natureza genérica ou particularista.

No caso da categoria de termos genéricos, ao invés de se compor de uma imagem concreta de um objeto em particular, constitui-se de:

a) uma imagem modelada ou idealizada de um conceito relativamente concreto e de primeira ordem, como “cadeira” ou “cachorro”, ou b) várias combinações de significados conceituais de primeira ordem ou de ordem maior, de maneira que constituem os atributos de critério de conceitos mais abstratos e complexos, como “chefe de estado ou chefe executivo de uma república” no caso do “presidente” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 94, tradução nossa).

Claramente, a natureza genérica dos termos conceituais influencia nos processos cognitivos envolvidos na formação de conceitos. Por exemplo, quando uma criança, por geração e comprovação de hipóteses, abstrai os critérios de classificação de “cachorro” e o faz para diferentes tipos de cachorro, então, ela pode generalizar esses critérios para toda uma classe de indivíduos, no caso, de cachorros. Nessa situação, torna-se evidente que o conteúdo cognitivo resultante de tal processo precisa ser de natureza genérica. Por mais que todo o conjunto de experiências que conduziu a criança na formação do conceito “cachorro” possa ser único e particular, o conceito em si, adquirido, é genérico – inclusive ela poderá acessá-lo em sua estrutura cognitiva, recordando-se de exemplos particulares. Porém, o conceito em si é genérico.

Nesse sentido, podemos dizer que, na perspectiva da TAS, a formação de conceitos se trata, essencialmente, do processo de abstrair as características comuns e essenciais de uma classe de objetos e fenômenos, chegando a uma representação genérica destes. Os processos mais avançados que interferem na formação dos conceitos obedecem, segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 97, tradução nossa), aproximadamente, a esta sequência:

1. A análise discriminativa de diferentes padrões de estímulos;
2. a formação de hipóteses relativa aos elementos comuns abstraídos;
3. a comprovação subsequente dessas hipóteses em situações específicas;
4. a designação seletiva entre eles, e uma categoria geral ou conjunta de atributos comuns, para os quais pode incluir-se com êxito todas as variáveis;
5. a relação deste conjunto de atributos com as ideias de afiliação pertinentes da estrutura cognitiva;
6. a diferenciação do conceito novo e dos conceitos relacionados e previamente aprendidos;
7. a generalização dos atributos de critério do conceito novo a todos os membros da classe, e
8. a representação do novo conteúdo categorial por meio de um símbolo linguístico que concorde com o emprego convencional.

Nesse trecho, constatamos uma sequência que, em linhas gerais, está relacionada à ideia de resolução significativa de problemas e que pode ser uma das formas de se chegar à aprendizagem significativa de determinado conceito, conforme já mencionado neste texto. Sobre isso, observam Ausubel, Novak e Hanesian (1983, p. 97, tradução nossa):

Na formação de conceitos, o aluno não gera hipóteses ou proposições de resolução de problemas, que tendem a definir os atributos de critério abstraídos do conceito que se vai aprender. Para que seja potencialmente significativa, certas hipóteses devem incorporar uma relação de meios para fins; isto é, os atributos de critério estabelecidos em forma de hipóteses devem ser ilustráveis em exemplos específicos. O processo real de confirmar explicitamente ou não que é esse o caso ocorre durante a comprovação das hipóteses. Por último, os atributos de critério confirmados se relacionam com ideias pertinentes da estrutura cognitiva e, por conseguinte, se convertem em significativos, isto é, constituem o significado do conceito depois que eles foram internalizados.

Nos dois trechos acima transcritos, percebemos alguns critérios que servem para determinar se o processo de formação de conceitos pode ser considerado significativo. No caso da geração e da comprovação de hipóteses, passos constituintes da resolução de problemas, destaca-se o fato de serem apenas etapas percorridas até que o conceito se torne significativo, pois, no que tange à TAS, o critério mais fundamental é a forma como os conceitos novos se relacionam com as ideias pertinentes na estrutura cognitiva do indivíduo. As ideias de afiliação da estrutura cognitiva, com as quais os novos conceitos se relacionam, variam naturalmente de acordo com o grau de abstração e complexidade do conceito a ser aprendido.

O processo de formação de conceitos é facilitado quando o indivíduo compreende a ideia de categorização. Ausubel destaca que essa noção pode ser compreendida analogamente à ideia de que tudo possui um nome. Trata-se de apreender que os significados que apresentam a mesma essência perceptual tenderão a possuir o mesmo nome, e, por consequência, significados distintos possuem nomes diferentes. Nessa perspectiva, o simples ato de nomear um objeto ou evento constitui uma forma primitiva de formação de conceitos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983).

Segundo os autores, existe uma diferença entre os termos conceituais utilizados por determinado grupo de pessoas e o conteúdo cognitivo dos membros desse grupo. Assim, se em um determinado grupo social e cultural existe uma uniformidade nos termos conceituais utilizados, isso não necessariamente garante uma uniformidade no conteúdo cognitivo dos membros que o compõem. A razão dessa variabilidade se encontra na natureza idiossincrática da experiência e nas diferenças existentes na estrutura cognitiva, com as quais se relacionam os conceitos potencialmente significativos. Outra razão para essas variações pode estar na imaturidade cognitiva e na inexperiência intelectual. Nas crianças em idade escolar, o que pode ocorrer é a falta de domínio cognitivo e de experiências anteriores. Porém, também existe uma pressão que se exerce sobre as crianças para que decorem conceitos mal compreendidos, ocultando a sua falta de compreensão, o que pode, por sua vez, desenvolver e/ou perpetuar falsos conceitos.

À medida que a criança avança entre as etapas pré-escolar e escolar, até se tornar adulta, seu grau de precisão e abstração na formação de conceitos é igualmente aumentado. Esse avanço diz respeito, basicamente, à capacidade de categorizar a experiência, passando de uma fase chamada de pré-categorial até outra categorial, o que significa, em linhas gerais, ir “[...] de uma base relativamente concreta a outra verdadeiramente abstrata de categorizar e designar significados genéricos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 103, tradução nossa). Em idade pré-escolar (fase pré-categorial), os objetos são agrupados em relação às suas propriedades percebidas imediata e diretamente, e não em termos de sua afiliação a uma classe genérica.

Conforme evolui nas etapas escolares, aproximando-se da adolescência, o indivíduo desenvolve maior habilidade verbal e representacional e passa a não depender, necessariamente, da experiência empírico-concreta em seus processos de conceitualização. Nessa circunstância, a classificação categorial predominantemente utilizada passa a ser de atributos de critérios abstratos ao organizar cognitivamente a experiência.

Num primeiro momento, são utilizadas imagens concretas que representam uma classe genérica de objetos e eventos perceptíveis pela experiência empírico-concreta. Posteriormente, estes são modificados gradualmente e se convertem em símbolos representacionais mais abstratos, razoavelmente diferentes das propriedades de estímulo que representam. O processo de conceitualização consiste em um símbolo representacional assumir *status* de abstração maior, tornando-se independente e podendo ser aplicado a qualquer objeto ou situação pertinente. O posterior desenvolvimento conceitual, na estrutura cognitiva do indivíduo, envolve uma série contínua de reorganizações dos conceitos existentes à medida que interagem com novas percepções, processos idealizados, estados afetivos ou de valores.

#### **4.12 Resolução significativa de problemas como promotora da aprendizagem significativa**

As aprendizagens por recepção e por descoberta não são totalmente dicotômicas, sobretudo, no que diz respeito à resolução significativa de problemas. No geral, esse processo envolve os dois tipos de aprendizagem, quase sempre na forma proposicional, em diferentes etapas. Num primeiro momento, cabe destacar que as proposições de resolução de problemas não se criam absolutamente como algo totalmente novo; pelo contrário, sua criação envolve uma reestruturação, reorganização, síntese e integração de proposições de substrato disponíveis. Ausubel (2003, p. 96) divide as proposições de substrato em dois tipos:

(1) proposições de colocação de problemas, que definem a natureza e as condições da situação problemática atual; e (2) proposições anteriores, que consistem em aspectos relevantes de conhecimentos anteriormente adquiridos (informações, princípios) que se apoiam no problema.

No que se refere às proposições de colocação de problemas, a aprendizagem significativa na escola e em ambientes similares ocorre, geralmente, por meio da recepção. Ou seja, as proposições de colocação de problemas são apresentadas ao estudante, e ele, por sua vez, apenas deve aprendê-las e lembrar-se do que significam, relacionando-as, de forma substantiva e não arbitrária, a elementos pertinentes de sua estrutura cognitiva. No entanto, diferentemente da aprendizagem puramente por recepção, que segue com a aprendizagem e retenção da proposição em foco, a interiorização significativa de proposições de colocação de problemas cria, num primeiro momento, uma situação que pode ser caracterizada como aprendizagem por descoberta. A partir de então, constitui-se uma nova proposição de colocação de problemas, incluindo uma relação de meios-fim, baseada nas transformações das proposições interiorizadas para o problema atual e para problemas já resolvidos anteriormente.

Na aprendizagem significativa por descoberta, o aprendiz relaciona, de forma substantiva e não arbitrária, proposições de colocação de problemas à sua estrutura cognitiva, sem o objetivo de aprender o que significam por si só, mas sim para transformá-las (juntamente com e tirando proveito de conhecimentos relevantes existentes em sua estrutura cognitiva) em novas proposições de resolução de problemas potencialmente significativas.

Para Ausubel, Novak e Hanesian (1983), a resolução de problemas, no âmbito educacional, dependendo de como for realizada, pode promover a aprendizagem significativa. A essa classe de resolução de problemas, os autores denominam de “resolução significativa de problemas”. Essa, diferentemente da aprendizagem baseada em ensaio e erro<sup>13</sup>, deve ser orientada a hipóteses que exigem a transformação e reintegração do conhecimento existente na estrutura cognitiva do estudante. Esse movimento cognitivo ocorre a fim de que o conhecimento existente e já significativo nessa estrutura se adapte às demandas de uma meta específica ou de uma relação de meios e fins. Esse é o único aspecto da resolução de problemas que pode ser caracterizado como aprendizagem por descoberta, visto que a compreensão do problema e a assimilação de sua solução se vinculam à aprendizagem por recepção.

As principais variáveis que influenciam no resultado da resolução de problemas são definidas como:

---

<sup>13</sup> A aprendizagem por ensaio e erro é aqui entendida como um processo onde se testa hipóteses de forma arbitrária e aleatória até que se atinja o resultado “correto”.



a) A disponibilidade de conceitos e princípios na estrutura cognitiva, pertinentes para os problemas particulares que vão se apresentar, e b) características cognitivas e de personalidade como a clareza, a capacidade de integração, o estilo cognitivo, a sensibilidade ao problema, a flexibilidade, a capacidade de improvisar, a audácia, a curiosidade intelectual e a tolerância à frustração (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 485, tradução nossa).

Percebe-se que a primeira variável fundamental para o resultado da resolução de problemas é a mesma para a aprendizagem significativa de qualquer classe (recepção ou descoberta), ou seja, o problema e a forma como ele será apresentado precisam torná-lo relacionável com elementos pertinentes da estrutura cognitiva do estudante. Já a segunda variável está atrelada a elementos distintos que não se relacionam, necessariamente, aos conhecimentos vinculados ao conteúdo, e sim a outras capacidades. Portanto, o êxito ou fracasso na resolução de um problema específico, ou conjunto de problemas, não reflete, determinantemente, a informação de que o estudante compreendeu ou não os conceitos e/ou proposições inerentes à exemplificação trazida pelo problema em particular.

Sendo assim, os alunos podem entender verdadeiramente uma proposição sem serem capazes de aplicá-la com êxito em situações problema particulares, pois essa aplicação exige mais conhecimentos, destrezas, capacidades, experiência e traços de personalidade que não são inerentes à compreensão em si. A afirmação inversa também é verdadeira, ou seja, quando o “fazer” é de natureza mecânica ou repetitiva, não pressupõe nem melhora necessariamente a compreensão (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 466, tradução nossa).

Ou seja, a resolução de problemas exige habilidades que vão além da compreensão significativa do conteúdo teórico a eles relacionados. Nesse caso, o sucesso ou fracasso ao resolver um determinado problema, ou lista de problemas, pode estar ligado a variáveis que não necessariamente estão atreladas à compreensão do conteúdo em si.

Quando a atividade de resolução de problemas se ocupa basicamente com a manipulação de imagens, símbolos e proposições formuladas de forma simbólica, sem a necessidade do uso ou manipulação de objetos físicos, ela é chamada de “atividade de pensamento”. Mesmo utilizando apenas o pensamento, o indivíduo poderá empregar o método do discernimento ou se restringir ao procedimento de ensaio e erro. O método a ser adotado dependerá do tipo de problema, da idade e da experiência prévia do indivíduo.

A atividade de resolução de problemas, assim como qualquer outra tarefa de aprendizagem, precisa obedecer a algumas premissas para ter a potencialidade de resultar em uma aprendizagem significativa. Esse objetivo poderá ser alcançado somente quando o estudante relacionar, de forma substancial, uma proposição potencialmente significativa da

abordagem de um problema à sua estrutura cognitiva. Essa relação é efetuada com o intuito de solucionar o problema; a solução, por conseguinte, precisa se relacionar à estrutura cognitiva da mesma maneira. Ou seja, essas condições são as mesmas definidas para a aprendizagem significativa: “[...] disposição para a aprendizagem significativa, uma tarefa de aprendizagem logicamente significativa e a existência de ideias estabelecidas e pertinentes na estrutura cognitiva do aluno” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1983, p. 487, tradução nossa).

O apresentado neste capítulo, particularmente quanto às evidências de aprendizagem significativa, suas possibilidades e sua relação com situações que envolvem resolução de problemas, refere-se aos aspectos centrais do presente estudo, frente à realização de EPs. As discussões deste capítulo, somadas ao entendimento dos EPs, apresentadas anteriormente, foram tomadas como pressupostos norteadores da estruturação da atividade proposta para o desenvolvimento do estudo piloto. Além disso, as ponderações relativas à TAS subsidiaram a análise dos materiais produzidos durante os dois episódios de EPs utilizados nessa etapa do estudo, o que passamos a discutir na sequência. Ainda, serviram de referência para o estudo definitivo apresentado na continuidade do próximo capítulo.

## 5 PRIMEIROS PASSOS: ESTUDO PILOTO

Este capítulo se dedica a descrição e análise do estudo piloto desenvolvido com professores de Física em formação inicial, a partir de dois EPs que envolvem conceitos físicos semelhantes. No capítulo são descritos o contexto e a população do estudo, os episódios selecionados, a organização didática das atividades, a forma como os encontros foram estruturados, os resultados obtidos e as alterações identificadas para o estudo definitivo.

### 5.1 Contexto e população do estudo piloto

Como etapa inicial do estudo realizamos um estudo piloto que, como mencionado por Yin (2016, p. 53), “ajuda a testar e refinar um ou mais aspectos de um estudo final – por exemplo, seu delineamento, procedimentos de trabalho de campo, instrumentos de coleta de dados ou planos de análise”. Nesse sentido, durante o segundo semestre de 2018 foram desenvolvidas atividades relativas a dois EPs junto a um grupo de quatro estudantes (três do gênero masculino e um feminino) de um curso de Física-L, *locus* de realização do presente estudo, conforme mencionado na descrição metodológica.

O grupo de acadêmicos<sup>14</sup> participantes do estudo que está identificado no texto pela letra “A” seguido de numeração que inicia em 1 e termina em 4, foi selecionado por livre adesão, tendo como critério principal a disponibilidade em participar dos encontros em turno alternativo ao funcionamento do curso. O estudante A1, no momento da aplicação do estudo piloto, cursava o quarto semestre; A2 e A3 o sexto; e, A4 o oitavo semestre. Os quatro estudantes também integram projetos de extensão do curso e se propuseram a participar dessa etapa da investigação, assinando para isso o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (ANEXO A).

O estudo piloto foi desenvolvido em três encontros, como será detalhado posteriormente, no qual foram recolhidas as produções dos acadêmicos durante as atividades, bem como registrado por meio de videografações as ações e diálogos entre os envolvidos nas atividades (pesquisador e acadêmicos). As falas dos acadêmicos e do pesquisador transcritas dos diálogos durante os episódios de ensino e utilizadas neste texto, passaram por um processo de correção de linguagem como forma de deixar a leitura mais dinâmica, evitando os vícios de linguagem.

---

<sup>14</sup> Para efeitos de padronização do discurso, adotamos ao longo do texto as palavras “estudante” ou “acadêmico” para referir-se à população investigada.

## 5.2 Experimentos de Pensamento selecionados para o estudo piloto

Para a realização do estudo piloto foram selecionados dois EPs que envolvem conceitos físicos próximos e, portanto, possibilitam analisar os indícios de aprendizagem significativa considerando a perspectiva da aplicação em novos contextos, como apregoado pela TAS e discutido no capítulo anterior.

Os dois EPs selecionados são utilizados na história da Ciência para descrever a formulação de leis referentes ao movimento dos corpos, a saber: experimento do “Navio de Galileu” e o experimento de “Lançamento vertical de Aristóteles”. Tais EPs podem ter explicações e construções intelectuais bastante amplas, podendo abarcar vários conceitos referentes a cinemática e dinâmica, tais como: velocidade, deslocamento, trajetória, referencial (inercial e não-inercial), momento linear, entre outros.

O primeiro EP - experimento do “Navio de Galileu”, sugere um navio sobre a superfície plana da água, totalmente imóvel em relação a margem e sem nenhum tipo de vibração. Dois observadores são considerados para análise da situação, sendo um em repouso em relação ao topo do mastro do navio e outro em repouso em relação à margem. O navio possui dois estados de movimento possíveis: (1) repouso em relação à margem e (2) movimento retilíneo uniforme em relação à margem. O observador localizado no topo do mastro do navio abandona em queda um objeto “pesado”, como uma pedra por exemplo. O problema proposto por este EP consiste em cada observador definir o maior número de características (trajetória, posição de impacto, etc.) acerca do movimento de queda do objeto para os dois possíveis estados de movimento do navio. No texto orientador não foi especificado em relação a qual referencial deveriam ser definidas essas características, ou seja, a ideia consiste em fomentar a discussão entre os estudantes sobre o princípio da relatividade dos movimentos. Em última instância o EP tem como objetivo levar a construção do conhecimento de que as leis da Física devem ser as mesmas para qualquer referencial inercial e também de que a definição da trajetória do objeto depende do referencial adotado para se fazer as medições. O objetivo de fundo de Galileu em formular essa ideia é pôr em cheque a concepção aristotélica que sustenta a tese de a Terra deveria estar “parada”. O segundo EP selecionado faz essa ponte e tem como potencial demonstrar essa inconsistência existente na Física vigente até então. Devido a essa natureza de mostrar essas contradições em determinada teoria, podemos utilizar a definição de Brown (1991) e classificar esse EP como destrutivo.

O segundo EP selecionado para a atividade foi originalmente sugerido por Aristóteles e foi utilizado como argumento para sustentar a ideia de que a Terra deveria estar em repouso no

centro do Universo - modelo geocêntrico. A atividade proposta neste EP consiste em arremessar um objeto “pesado” verticalmente para cima até uma altura que não deve ser muito grande em relação ao raio da Terra, alguns metros por exemplo. Como consequência sabemos que ela subirá até determinada altura e, posteriormente, retornará ao chão. De acordo com os argumentos aristotélicos, se a Terra estivesse girando em torno de seu próprio eixo (como defendia o modelo heliocêntrico), então entre o intervalo de tempo de subida e descida do objeto o planeta teria se movido a certa distância. Nesse sentido, de acordo com a Física aristotélica, o objeto não deveria retornar ao chão na mesma posição do arremesso, e sim a uma distância afastada desta, equivalente ao quanto a Terra se moveu no intervalo de tempo de sua subida e descida. Obviamente o que se observa não é isso, ou seja, desconsiderando qualquer efeito do ar e desde que a altura do lançamento seja muito pequena (no máximo alguns metros por exemplo) em relação ao raio da Terra, o objeto retorna na posição em que foi arremessado (com as devidas aproximações). A questão reside em como sustentar um modelo onde a Terra possui movimento de rotação com uma velocidade tangencial de, aproximadamente, 460 m/s no equador, a partir do resultado deste experimento.

A escolha desses EPs não foi arbitrária, mas pautada na possibilidade de que frente a duas situações distintas há possibilidade de que os estudantes possam relacionar os conceitos discutidos em um dos experimentos no outro, tendo, dessa forma contemplado a perspectiva de utilizar conceitos em situações distintas das que originalmente foram estabelecidos. Nesse sentido, é preciso considerar que os participantes do estudo já haviam cursado a disciplina de Física I, a qual contempla os conteúdos referentes a Mecânica Clássica e, mais especificamente, o tópico relativo ao movimento dos corpos, o que pode indicar que estes poderiam apresentar facilidade com os conceitos envolvidos na formulação e realização dos EPs. Ainda, em nível de hipótese, o que se poderia observar, seria a utilização e organização de conceitos mais do que a sua formação especificamente. Todavia, é preciso considerar que os EPs selecionados para essa etapa do estudo piloto podem incluir conceitos e discussões sobre o movimento dos corpos, não abordadas na disciplina de Física I, tampouco na educação básica (por exemplo, a dinâmica de rotação - devido ao movimento de rotação da Terra, permitindo, a título de hipótese, observar evidências da formação de conceitos diferentes dos já apresentados pelos acadêmicos).

Outro argumento utilizado para sustentar as escolhas, reside no fato de que a estrutura das atividades relacionadas aos EPs utilizados está direcionada a verificar evidências de aprendizagem significativa, o que difere da forma como os conceitos podem ter sido contemplados nas disciplinas curriculares. De acordo com Ausubel (2003) a aprendizagem

significativa de um determinado conhecimento implica na posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis, o que pode não ter sido favorecido no momento em que tais conteúdos tenham sido contemplados no contexto educacional. Para o autor, uma das formas de verificar indícios de aprendizagem significativa, é utilizar testes de compreensão que minimizam ao máximo a probabilidade de que o estudante expresse a resposta “correta”, que pode ter advinda de um processo de memorização, o que sabemos é frequentemente contemplado no sistema educacional. Nas palavras de Ausubel (2003, p. 130): “[...] os testes de compreensão devem, no mínimo, ser expressos em diferentes linguagens e apresentados num contexto algo diferente do material de aprendizagem originalmente encontrado”.

No caso dos dois EPs selecionados para este estudo piloto, a verificação de evidências acerca da aprendizagem significativa tem a potencialidade de ocorrer considerando as seguintes razões: primeira, muitos dos conceitos utilizados pelos estudantes na realização do primeiro EP já estão presentes e são significativos em sua estrutura cognitiva, isso pode ser verificado pelo fato de que os participantes da pesquisa não haviam realizado esse EP, o que remete a inferência de que provavelmente eles estariam aplicando os conceitos em um contexto e linguagem diferentes dos quais haviam aprendido originalmente (em outros momentos de sua formação, provavelmente na disciplina de Física I); segunda – para a realização do segundo EP uma ampla gama de conceitos que precisam ser utilizados são os mesmos que para o primeiro EP, nesse sentido, é possível verificar evidências da aprendizagem significativa dos conceitos abordados no primeiro EP. Essa última situação apoia-se no fato de que o segundo EP difere significativamente em termos de contexto da situação abordada inicialmente e, em nível de hipótese, pode ser uma forma de realizarmos inferências sobre as evidências de aprendizagem significativa de conceitos ocorrida durante a realização do primeiro EP.

### **5.3 Organização didática das atividades para o estudo piloto**

Com a definição da população participante da pesquisa e dos EPs utilizados, partimos para a estruturação didática das atividades e da forma como os encontros seriam organizados. Para isso, consideramos as especificidades da TAS e dos EPs, organizando os encontros de forma a apresentar um teste inicial e duas situações-problemas corresponde aos dois EPs.

O teste inicial teve como principal objetivo a busca por evidências referentes aos possíveis conhecimentos prévios apresentados pela população investigada no que tange a temática abordada pelos EPs a serem aplicados na sequência dos encontros. Nesse sentido, estruturamos um questionário contendo quatro questões, sendo três abertas e uma fechada.

Dentre essas questões, três estavam constituídas de perguntas diretas referentes aos conceitos e princípios a serem identificados; e uma foi organizada em formato de situação-problema. Por meio da análise do material produzido pelos estudantes frente ao questionário apresentado, foi possível identificar os possíveis conhecimentos prévios do grupo, para a partir disso, estruturar o material a ser utilizado na aplicação do EPs.

Nesse contexto, partimos do entendimento de que o material a ser utilizado deve ser potencialmente significativo, o que nos levou a organizar as atividades recorrendo à utilização de um texto orientador entregue em papel aos estudantes no momento da realização das atividades. Com o texto buscamos apresentar os problemas de modo que as proposições de colocação pudessem se relacionar de forma substancial e não arbitrária com os possíveis conhecimentos prévios identificados via teste inicial. Aliado ao texto orientador, entregue de forma escrita, buscamos fazer uma reflexão de forma oral que auxiliasse nessa possível relação entre os conhecimentos referentes a atividade e os conhecimentos dos estudantes.

A escolha da sequência dos EPs aplicados no segundo e terceiro encontro respectivamente, foi determinada pela intenção de verificar indícios da ocorrência da aprendizagem significativa de conceitos e a utilização destes conceitos em contextos diferentes dos problemas apresentados. Nesse sentido, o primeiro EP foi o do “Navio de Galileu”, desenvolvido no segundo encontro e o outro foi um experimento adaptado da obra de Galileu “*Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*”, mas que remete a Aristóteles. Os dois EPs podem ser solucionados recorrendo aos mesmos conceitos ou a conceitos intimamente inter-relacionados. A razão específica da ordem escolhida reside no fato de que para o primeiro EP a elaboração mental necessária parece ser menos abstrata, visto que os elementos envolvidos são da mesma ordem de grandeza, no caso, barco, pedra, etc. O segundo EP envolve o movimento de queda de uma pedra associado ao movimento de rotação da Terra, objetos com ordens de grandeza distintas. Nesse sentido, a opção foi a de partir de uma situação menos abstrata para outra que pode ser mais abstrata.

Os dois encontros utilizados para discutir os EPs foram organizados didaticamente da seguinte maneira: inicialmente apresentamos a proposta discutindo brevemente a origem e o objetivo do EP a ser desenvolvido; na sequência, foram entregues os textos orientadores para os estudantes trabalharem. Ao longo da atividade, sempre que necessário, foram feitas inferências por parte do pesquisador. Ao término da atividade foi realizada uma discussão onde cada um dos estudantes expôs seus resultados e métodos. Nessa discussão final o papel do pesquisador foi fundamental no sentido de questionar os participantes e promover o debate de forma que eles expusessem ao máximo as suas linhas de raciocínio.

O texto orientador entregue aos participantes foi organizado na forma de situação-problema e continha as seguintes etapas: formulação do problema; hipóteses; atividade e conclusão. Nesse sentido, os acadêmicos ao trabalharem com o EP em um primeiro momento deveriam se sentir forçados a cumprir essas etapas. Porém, como a atividade consiste em um EP é difícil saber ao certo quando cada etapa ocorre, talvez pelo fato de ela ocorrer na mente isso torna esse aspecto mais difícil de ser controlado. Portanto, a sequência mencionada foi de caráter orientador e o estudante não precisaria necessariamente cumprir todas as etapas e tampouco na ordem como foi citado. Esse caráter orientador do material de aprendizagem foi exposto e discutido oralmente com o grupo antes do início da atividade.

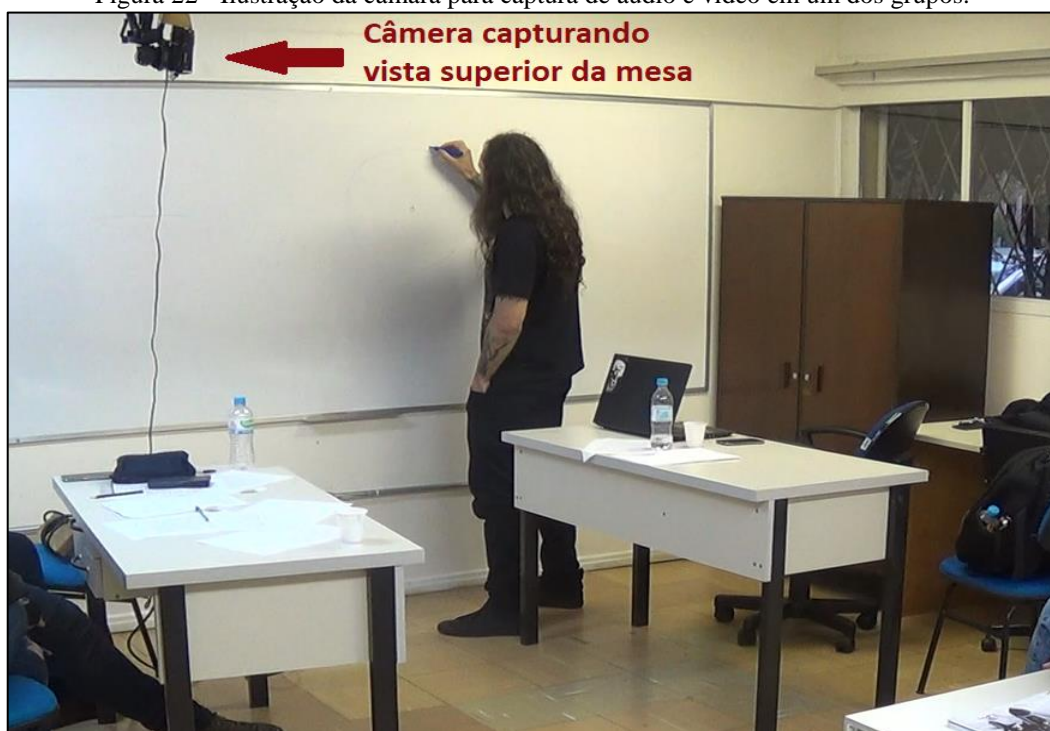
Além desses dois momentos que foram realizados em encontros distintos, tivemos no primeiro deles a aplicação de um teste com objetivo de verificar os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Esse teste conforme será discutido neste capítulo - seção dos resultados, possibilitou identificar aspectos que permitiram inferir quais os conhecimentos prévios dos alunos em relação à temática em estudo (APÊNDICE A).

#### **5.4 Atividades desenvolvidas nos encontros**

O estudo piloto foi realizado em uma sequência de três encontros, com uma semana de intervalo entre cada um. Para os encontros a sala foi devidamente preparada de modo a possibilitar a gravação em áudio e vídeo das discussões entre os participantes e deles com o pesquisador. Para tanto, foram adaptadas duas câmeras de vídeo com captura de imagem e som das duplas de estudantes. As Figuras 22 e 23, ilustram uma das câmaras, bem como a forma como as ações foram capturadas, respectivamente.

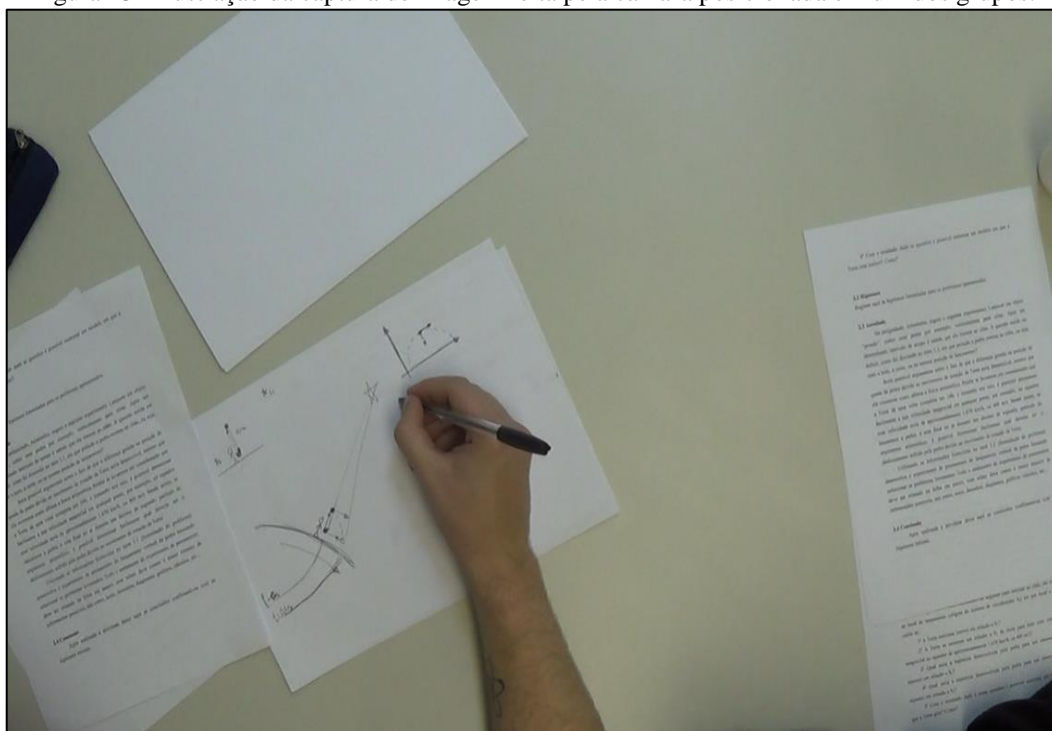


Figura 22 - Ilustração da câmara para captura de áudio e vídeo em um dos grupos.



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Figura 23 - Ilustração da captura de imagem feita pela câmara posicionada em um dos grupos.



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Esse arranjo de câmeras no ambiente permitiu que se capturasse uma ampla gama de elementos para posterior análise. A Figura 22, no detalhe da parte superior esquerda, apresenta como foram montadas as câmeras sobre as mesas de trabalho para que pudessem apanhar

detalhes acerca do desenvolvimento das atividades. Além dos vídeos, como mencionado no capítulo referente a metodologia, consideramos como produções os registros escritos elaborados pelos estudantes. Esse procedimento foi realizado nos três encontros, todavia, as câmeras para registro das atividades junto as duplas de acadêmicos ficou restrita ao segundo e terceiro encontro.

O primeiro encontro foi destinado a atender três objetivos fundamentais: apresentar e discutir a proposta de atividades com o grupo; obter a assinatura no TCLE; apresentar uma discussão sobre o entendimento de EP presente na literatura; e, aplicar o teste inicial destinado a identificar os prévios dos participantes do estudo.

Após a discussão sobre a proposta, realizada verbalmente e com a assinatura do TCLE, foram abordados de forma expositiva e dialogada, os aspectos sobre o entendimento de um EP. Para finalizar o encontro foi aplicado o teste inicial que os acadêmicos responderam individualmente.

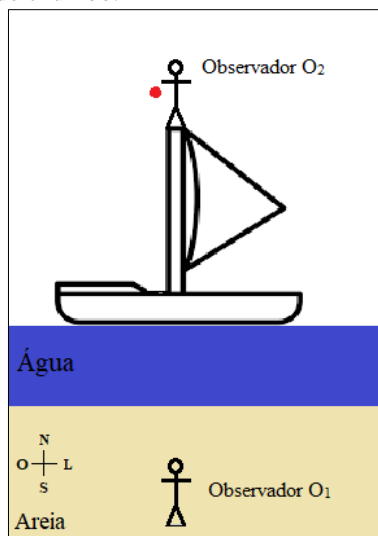
No segundo encontro foi realizado o primeiro EP programado para o estudo piloto. Para tanto, foi entregue um texto de apoio em cada um dos dois encontros, contendo as atividades que deveriam ser executados nas duplas de trabalho. O Quadro 1 apresentamos o texto entregue em cada um dos dois encontros.

Quadro 1 - Texto de apoio.

### Experimento de Pensamento número 1: Navio de Galileu

#### Formulação do problema

A figura abaixo mostra um navio sobre a superfície da água do mar. Imagine um sistema ideal onde a água está totalmente em repouso em relação à margem (areia) e que não existe nenhum tipo de ondulação ou vibração. Em repouso em relação a areia se encontra o observador O1, em repouso em relação ao navio o observador O2 segurando uma esfera de chumbo.



**1º Problema:** Se o observador  $O_2$  abandonar a esfera de chumbo, sendo que a queda da mesma leve um segundo, em que local do navio ela irá cair quando: (considere a aceleração gravitacional no local como  $10\text{m/s}^2$ ).

1. O navio estiver em repouso em relação à água?
2. O navio estiver em movimento retilíneo e uniforme em relação à água com velocidade de módulo igual a  $10\text{m/s}$  e orientada de oeste para leste, na direção horizontal?

**2º Problema:** Para os dois estados de movimento do navio mencionados no 1º problema, como será a TRAJETÓRIA da esfera?

### Hipóteses

Registre aqui às hipóteses formuladas para os problemas apresentados.

### Atividade

Na segunda jornada de sua obra “Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano”, Galileu apresenta e discute o chamado experimento do navio. A ideia é razoavelmente simples: imagina-se um navio com um mastro de onde é possível abandonar um objeto “pesado” (uma esfera de chumbo) em queda. Para a realização do experimento imaginasse a água totalmente em repouso em relação à margem e livre de qualquer ondulação ou vibração, é necessário também que se desprezem os efeitos do ar. Fixam-se, então, a água e o navio em relação a dois referenciais,  $S_1$  e  $S_2$ , respectivamente. Em repouso em relação a margem se encontra o observador  $O_1$  e em repouso em relação ao navio o observador  $O_2$ . O experimento consiste no observador  $O_2$  abandonar a bola de chumbo do topo do mastro quando o navio estiver em dois estados de movimento distintos: o primeiro quando o navio estiver em repouso em relação à água; e o segundo quando ele estiver em movimento retilíneo e com velocidade constante em relação à mesma.

Utilizando as informações fornecidas no item 1.1 (formulação do problema) desenvolva o experimento de pensamento do navio buscando solucionar os problemas levantados. Todo o andamento do experimento de pensamento deve ser relatado na folha em anexo, esse relato deve conter o maior número de informações possíveis, tais como, texto, desenhos, diagramas, gráficos, cálculos, etc.

### Conclusão

Após realizada a atividade deixe aqui as conclusões conflitando-as com as hipóteses iniciais.

### Experimento de Pensamento número 2: Lançamento vertical de Aristóteles

#### Formulação do problema

Com base na discussão histórica acerca dos modelos geocêntrico e heliocêntrico, considere os dois modelos possíveis para o estado de movimento rotacional da Terra: o primeiro afirma que a Terra não efetua nenhum tipo de movimento rotacional (modelo geocêntrico) e que o efeito da mudança do dia pela noite (entre outros) ocorre devido ao movimento do Sol em torno da Terra, já o segundo afirma que a Terra gira em torno de seu próprio eixo (modelo heliocêntrico) e que é devido a esse movimento que percebemos a alternância do dia pela noite.

Levando em consideração a possibilidade “ou não” de se detectar por meio de algum experimento o estado de movimento da Terra buscase formular o experimento de pensamento descrito na sequência. Para a formulação mais precisa imaginemos dois sistemas de referência: o primeiro ( $S_1$ ) é um sistema de referência inercial em relação ao qual pretendesse definir o estado de movimento rotacional da Terra, ou seja, ela estará em movimento ou em repouso em relação a ele. O segundo ( $S_2$ ) se encontra em repouso em relação a um ponto na superfície da Terra, ponto este, situado sobre a linha do equador terrestre, que coincide com a origem do sistema de coordenadas  $S_2$ .

Se uma pessoa em repouso em relação a  $S_2$  e situada na origem deste sistema de coordenadas, jogasse verticalmente para cima um objeto “pesado”, por exemplo, uma pedra, sendo que esta levasse um décimo de segundo para retornar ao chão, em relação ao local de lançamento (origem do sistema de coordenadas  $S_2$ ) em que local a esfera cairia se:

- 1º A Terra estivesse imóvel em relação a  $S_1$ ?
- 2º A Terra se movesse em relação a  $S_1$  de oeste para leste com velocidade tangencial no equador de aproximadamente  $1.670\text{ km/h}$ , ou  $460\text{ m/s}$ ?
- 3º Qual seria a trajetória desenvolvida pela pedra para um observador em repouso em relação a  $S_1$ ?

- 4° Qual seria a trajetória desenvolvida pela pedra para um observador em repouso em relação a S2?  
 5° Com o resultado dado a essas questões é possível sustentar um modelo em que a Terra gira? Como?  
 6° Com o resultado dado as questões é possível sustentar um modelo em que a Terra está imóvel? Como?

### Hipóteses

Registre aqui às hipóteses formuladas para os problemas apresentados.

### Atividade

Na antiguidade, Aristóteles, sugere o seguinte experimento: Lança-se um objeto “pesado”, como uma pedra, por exemplo, verticalmente para cima. Após um determinado intervalo de tempo é sabido que ela retorna ao chão. A questão reside em definir, como foi discutido no item 2.1, em que posição a pedra retorna ao chão, ou seja, mais a leste, à oeste, ou na mesma posição de lançamento?

Seria possível argumentar sobre o fato de que a diferença gerada na posição de queda da pedra devido ao movimento de rotação da Terra seria desprezível, mesmo que ela ocorresse como afirma a física aristotélica. Porém se levarmos em consideração que a Terra dá uma volta completa em 24h, e tomando seu raio, é possível determinar facilmente a sua velocidade tangencial em qualquer ponto, por exemplo, no equador essa velocidade seria de aproximadamente 1.670 km/h, ou 460 m/s. Sendo assim, se lançarmos a pedra, e esta ficar no ar durante um décimo de segundo, partindo do argumento aristotélico, é possível determinar facilmente qual deveria ser o deslocamento sofrido pela pedra devido ao movimento de rotação da Terra.

Utilizando as informações fornecidas no item 1.1 (formulação do problema) desenvolva o experimento de pensamento do lançamento vertical da pedra buscando solucionar os problemas levantados. Todo o andamento do experimento de pensamento deve ser relatado na folha em anexo, esse relato deve conter o maior número de informações possíveis, tais como, texto, desenhos, diagramas, gráficos, cálculos, etc.

### Conclusão

Após realizada a atividade deixe aqui as conclusões conflitando-as com as hipóteses iniciais.

Fonte: Autor, 2018.

## 5.5 Resultados do estudo piloto

Para apresentação dos resultados do estudo piloto optamos por organizá-los de forma a contemplar inicialmente as discussões do teste inicial, na sequência as decorrentes dos EPs e, a seguir, as discussões realizadas coletivamente durante o segundo e terceiro encontro.

### 5.5.1 Teste inicial: verificando possíveis conhecimentos prévios

Uma das premissas fundamentais da TAS, descrita no capítulo anterior, está relacionada a ocorrência do que se chama de aprendizagem significativa. Para a aprendizagem ser considerada significativa é necessário que o novo conhecimento se relacione de forma substancial e não arbitrária com elementos pertinentes existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Nesse contexto, Moreira (2016) reportando-se a TAS salienta que os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, ao se tornarem mais amplos e inclusivos são chamados de “conhecimentos subsunçores”, por desempenharem o papel de subsunção em relação aos novos conhecimentos a serem aprendidos.

Como forma de buscar evidências desses subsunçores, organizamos o teste contendo questões que contemplam conceitos relacionáveis com aqueles que poderiam ser utilizados durante a execução da atividade. O questionário foi estruturado contendo quatro questões, sendo três abertas e uma fechada.

Os significados evidenciados por meio da análise dos dados foram dispostos em tabelas. Como alguns dos estudantes utilizaram desenhos, sempre que necessário serão apresentados e discutidos esses elementos gráficos. O Quadro 2 traz os elementos construídos a partir da análise das respostas dos participantes do estudo piloto para a questão número 1.

Quadro 2 - Significados identificados na questão 1 do teste inicial.

<b>Questão 1:</b> O que diferencia um referencial inercial de outro não inercial?
<b>A1:</b> referencial inercial é aquele em relação ao qual não se pode definir o estado de movimento de um corpo.
<b>A2:</b> referencial inercial não possui variação de momento linear, ou seja, sem aceleração.
<b>A3:</b> referencial inercial seria aquele ligado a direção e ao sentido de um observador.
<b>A4:</b> referencial inercial é aquele que não possui ação de forças externas que geram aceleração.

Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

A segunda questão teve uma parte do tipo pergunta fechada (com alternativas do tipo “sim” e “não”) e outra aberta (justificativa sobre a resposta dada a primeira parte), cujas respostas estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Significados identificados na questão 2 do teste inicial.

<b>Questão 2:</b> Um corpo que efetua um movimento circular com velocidade linear de módulo constante (MCU) pode ser considerado um corpo de referência inercial? Justifique a sua resposta. ( ) sim, ( ) não – todos responderam a alternativa “ <b>sim</b> ”.
<b>A1:</b> utiliza a existência da força centrípeta ligando com o princípio da equivalência, porém em prol de sustentar que o objeto pode ser “sim” considerado um corpo de referência inercial.
<b>A2:</b> considera que MCU ocorre sem a ação de nenhuma força externa sobre o corpo.
<b>A3:</b> identifica que o módulo, direção e sentido da velocidade linear são constantes.
<b>A4:</b> considera que MCU ocorre sem nenhuma aceleração.

Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Na primeira parte da questão todos responderam a alternativa “sim”, portanto, a análise posterior foi realizada apenas para as justificativas. Os significados foram construídos a partir das justificativas dos estudantes sobre o porquê responderam que um corpo em MCU pode “sim” ser considerado um referencial inercial.

A questão número 3 foi elaborada no formato de situação-problema. Esse arranjo permitiu identificar de forma direta e/ou indireta, uma gama mais ampla de possíveis conceitos utilizados pelos estudantes. O processo de análise foi mais complexo para esta questão, visto que na resolução da situação-problema os acadêmicos utilizaram vários recursos, como textos,

desenhos e diagramas. Os significados construídos a partir dos dados coletados por meio a análise da questão 3 estão dispostos no Quadro 4.

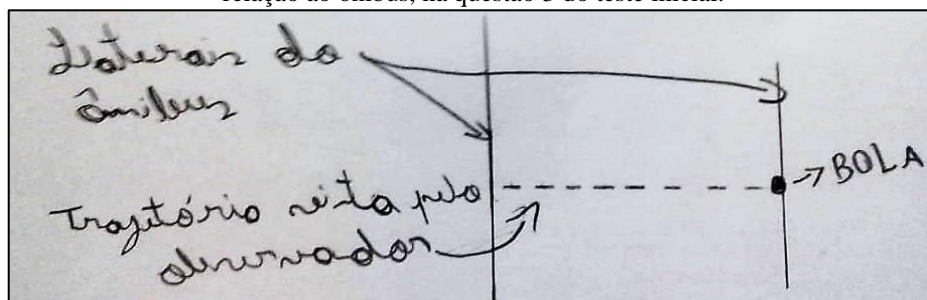
Quadro 4 - Significados identificados na questão 3 do teste inicial.

<p><b>Questão número 3:</b> Um ônibus se move com velocidade constante em módulo, direção e sentido em relação ao leito de uma estrada perfeitamente plana e horizontal. Tanto o leito da estrada como o ônibus podem ser considerados corpos de referência inerciais. Uma bola de gude é posta para rolar (sobre o assoalho do ônibus que precisa ser considerado perfeitamente plano e horizontal) de uma das laterais do veículo até a outra, o vetor que representa sua velocidade inicial forma um ângulo de <math>90^\circ</math> em relação a lateral do ônibus. Para responder as questões abaixo considere que a observação é realizada a partir da vista superior, ou seja, de cima para baixo.</p>
<p><b>a)</b> como será a trajetória da bola de gude definida por um observador que se encontra em repouso em relação ao ônibus?</p>
<p><b>A1:</b> será uma linha reta.</p>
<p><b>A2:</b> será uma linha reta porque não existe nenhuma força externa atuando na bola.</p>
<p><b>A3:</b> pode ser em linha reta ou curva, dependendo da posição do ônibus (desenhos mostram o movimento ora retilíneo ora curvo em um sentido, ora curvo em outro sentido).</p>
<p><b>A4:</b> será uma linha reta porque trata-se de um referencial inercial.</p>
<p><b>b)</b> como será a trajetória da bola de gude definida por um observador que se encontra em repouso em relação ao leito da estrada?</p>
<p><b>A1:</b> define corretamente a trajetória, porém não formaliza uma análise vetorial ou de composição de movimentos.</p>
<p><b>A2:</b> define corretamente a trajetória, formaliza a análise vetorial e a composição de movimentos, porém confunde os conceitos de trajetória e deslocamento.</p>
<p><b>A3:</b> afirma que o movimento terá velocidade maior.</p>
<p><b>A4:</b> define corretamente a trajetória utilizando de forma bastante consistente a ideia de composição de movimentos (faz uma análise vetorial).</p>

Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

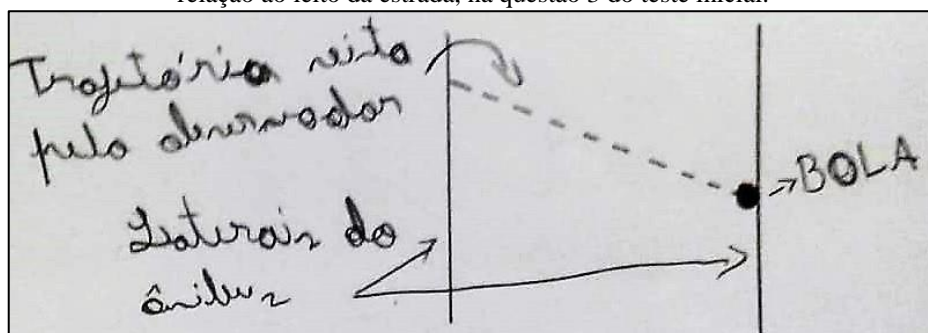
Para a resolução da questão número 3 além de textos explicativos os estudantes utilizaram largamente elementos gráficos como desenhos e diagramas. Alguns desses elementos gráficos refletem de forma significativa os conceitos empregados pelos estudantes durante a resolução da situação-problema apresentada. As Figuras 24 e 25 ilustram exemplos de representação gráfica realizada por um dos acadêmicos.

Figura 24 - Representação utilizado por A1 para a trajetória na bola vista por um observador em repouso em relação ao ônibus, na questão 3 do teste inicial.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

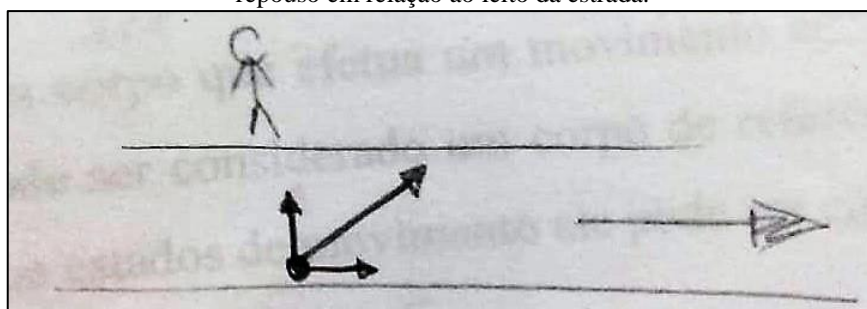
Figura 25 - Representação utilizado por A1 para a trajetória na bola vista por um observador em repouso em relação ao leito da estrada, na questão 3 do teste inicial.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Percebemos em ambos os casos representados nas Figuras 24 e 25 certa coerência nas representações em relação à cinemática galileana. Outro exemplo de representação gráfica, que define mais formalmente a ideia de composição dos movimentos é apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Representação utilizado por A2 para o movimento da bola e do ônibus visto pelo observador em repouso em relação ao leito da estrada.

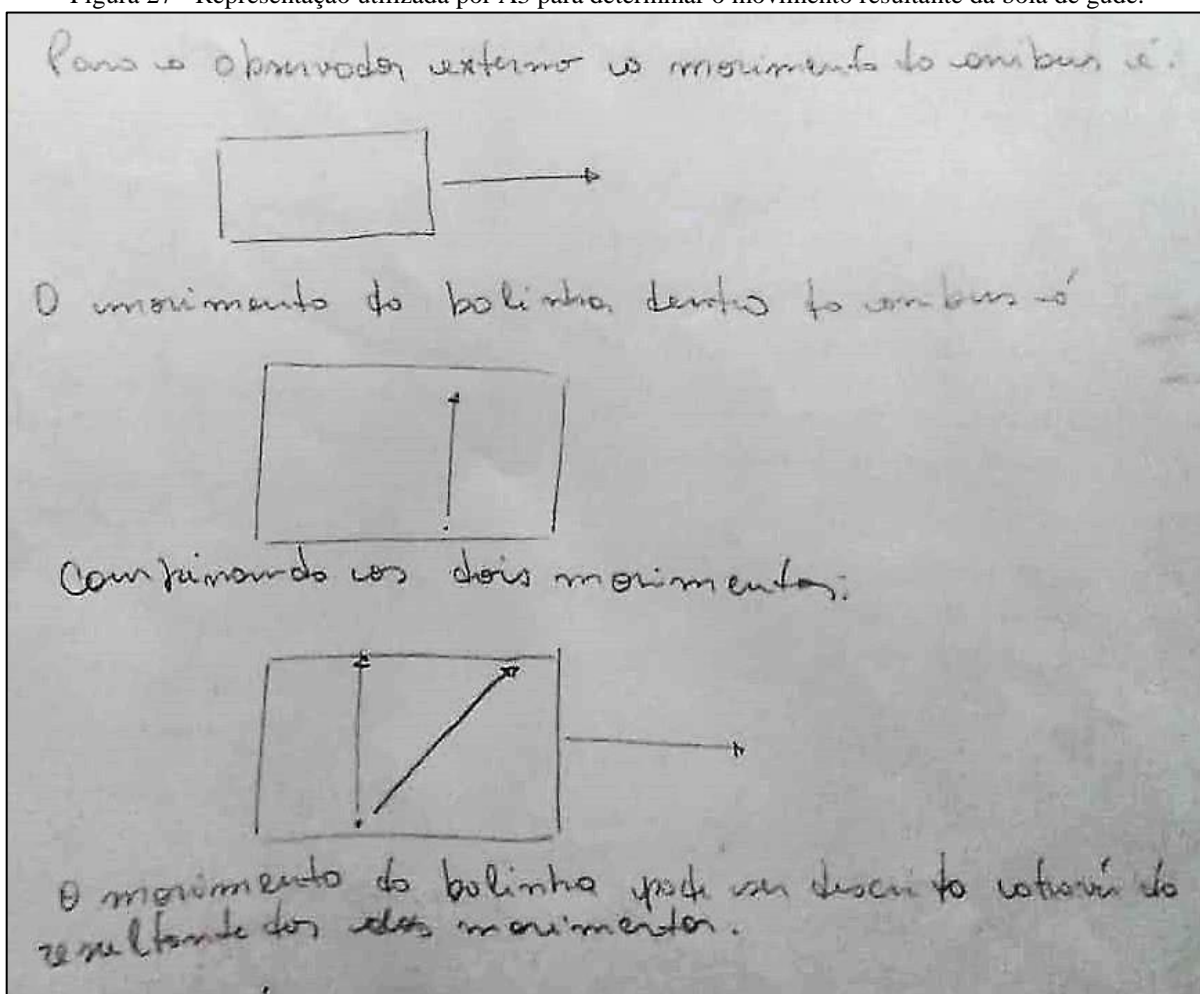


Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Percebemos na figura a representação das componentes referentes ao movimento da bola e do ônibus que combinadas formam o deslocamento resultante determinado pelo observador que se encontra em repouso em relação ao leito da estrada. No texto explicativo o participante A2 menciona que a “trajetória” da bola é uma resultante entre o deslocamento do ônibus e o lançamento da bola. Todavia, por mais que o estudante represente corretamente a parte gráfica obtendo o resultado esperado, em seu texto percebemos certa confusão entre os conceitos de deslocamento e trajetória.

P<sub>3</sub> também faz uma construção conceitualmente correta acerca da composição dos movimentos, como pode se observar na Figura 27.

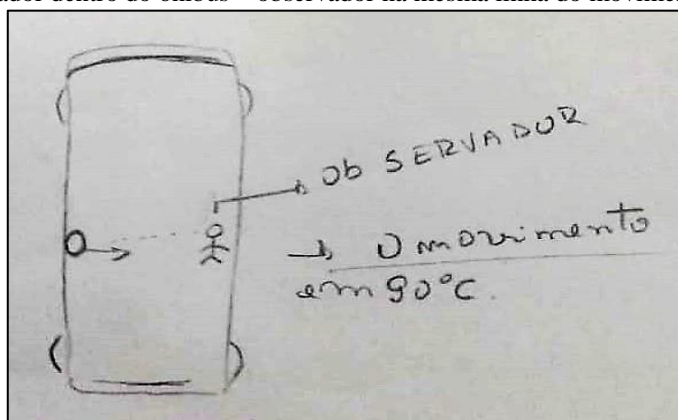
Figura 27 - Representação utilizada por A3 para determinar o movimento resultante da bola de gude.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

O participante A4 traz em seu texto afirmações de que a trajetória pode ser retilínea ou curva, dependendo da posição do ônibus. As Figuras 28, 29 e 30 trazem as representações gráficas feitas por esse mesmo sujeito e que ilustram a situação.

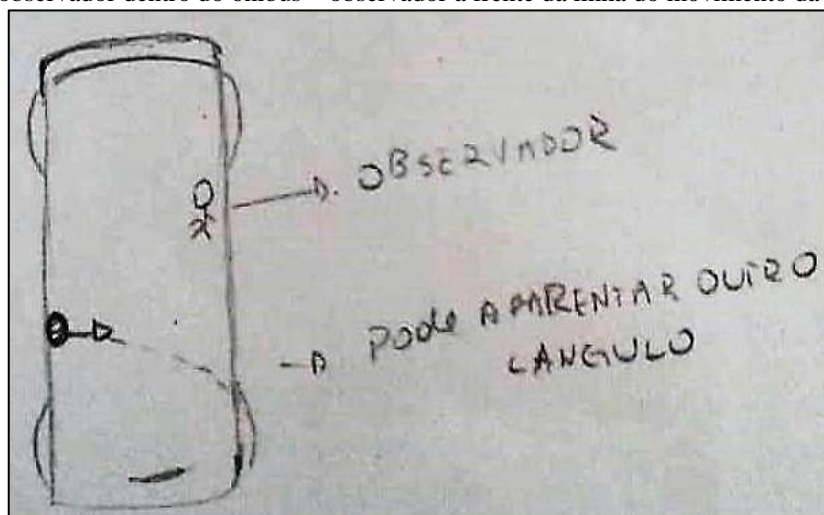
Figura 28 - Representação utilizada por A3 para determinar a trajetória da bola de gude em relação à posição relativa do observador dentro do ônibus – observador na mesma linha do movimento da bola de gude.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

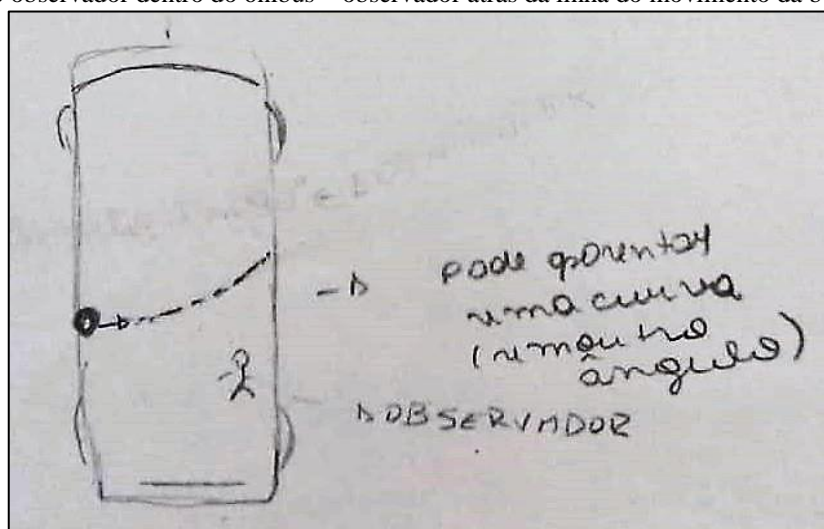


Figura 29 - Representação utilizada por A3 para determinar a trajetória da bola de gude em relação à posição relativa do observador dentro do ônibus – observador a frente da linha do movimento da bola de gude.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Figura 30 - Representação utilizada por A3 para determinar a trajetória da bola de gude em relação à posição relativa do observador dentro do ônibus – observador atrás da linha do movimento da bola de gude.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

O participante A3 afirma que para o observador em repouso em relação ao ônibus existem essas três possibilidades de trajetória para a bola de gude. As representações refletem, além da falta de clareza no que diz respeito a referenciais inerciais e não inerciais, uma dependência não-fundamentada entre a definição da trajetória e a posição do observador dentro do ônibus.

A questão número 4 refere-se a uma pergunta aberta de caráter dissertativo. Os significados obtidos para esta questão estão dispostos do Quadro 5.

Quadro 5 - Significados identificados na questão 4 do teste inicial.

<b>Questão número 4:</b> O que você entende pelo princípio da relatividade dos movimentos de Galileu?
<b>A1:</b> a definição do estado de movimento depende do referencial adotado.
<b>A2:</b> análise dos movimentos a partir de diferentes referenciais inerciais ou não.
<b>A3:</b> a definição do estado de movimento depende do referencial adotado.
<b>A4:</b> a definição do estado de movimento depende do referencial adotado.

Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Os resultados obtidos por meio do teste inicial possibilitaram estruturar especificidades relativas às formas como os EPs precisavam ser organizados, de modo a buscar nesses subsunçores elementos para ancorar as novas informações. Nesse contexto identificamos que a maioria dos acadêmicos apresentavam conhecimentos subsunçores relativos à definição do que seria um referencial, todavia, observou-se que se revelavam carentes e deficitários no que diz respeito à abrangência e à inclusividade desse conceito, o que remete a uma estruturação deficitária e pouco abrangente destes como ancoradouros de novos conhecimentos que se utilizem desse conceito. Isso pode ser verificado pelo fato de que a grande maioria respondeu de forma coerente a questão número 1, que se tratava de um questionamento referente às características de um referencial inercial, porém, todos responderam que um corpo em movimento circular uniforme poderia ser considerado inercial. Na questão número 3 também observamos, por meio da análise dos dados, uma dificuldade no que diz respeito a abrangência e formulação das leis físicas em relação a sistemas de referência inerciais, isso pode ser verificado pela incoerência na definição da trajetória da bola de gude por parte de alguns dos participantes. Nesse sentido, destacamos que é possível fazer pelos menos duas inferências sobre os conhecimentos subsunçores dos estudantes, que de forma geral são: (1) os estudantes em sua maioria possuem conhecimento adequado sobre o que é um referencial inercial; (2) o grau de diferenciação, abrangência e algumas das implicações em se considerar eventos em relação a referenciais inerciais não é tão apurada. A partir dessas constatações buscamos organizar as atividades baseadas nos EPs que seriam realizadas nos próximos dois encontros. Mais especificamente, buscamos selecionar e estruturar as proposições de colocação de problema e a apresentação dos EPs de forma que pudessem ser relacionados de forma substancial e não arbitrária com os conhecimentos subsunçores evidenciados no teste inicial aqui descrito.

### 5.5.2 Experimentos de Pensamento: buscando indícios de aprendizagem significativa

Nesta seção optamos por analisar separadamente cada instrumento de obtenção dos materiais (videograções e produções escritas) e, na sequência, procedendo a triangulação desses dados.

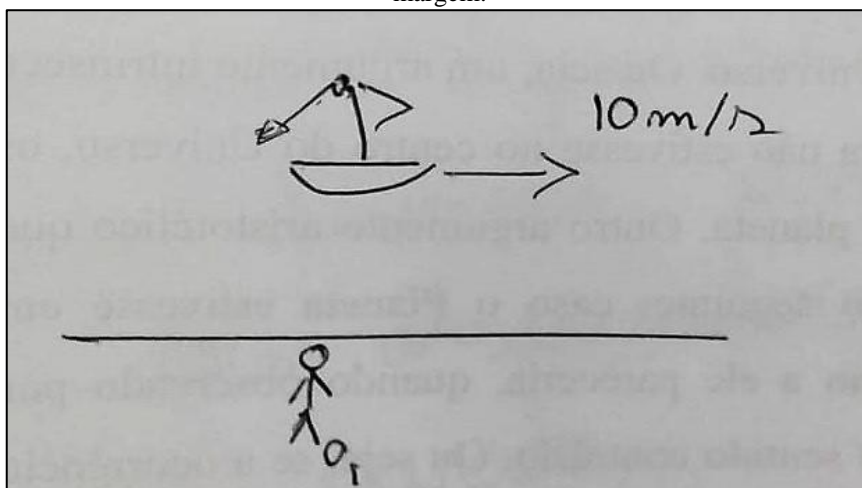
#### a) Materiais escritos

Os dados adquiridos por meio desse instrumento se constituem basicamente de textos e construções gráficas, como desenhos e diagramas. Os EPs estão identificados seguindo a numeração 1 para o realizado no segundo encontro – Navio de Galileu (EP1) e 2 para o realizado no terceiro encontro – Lançamento vertical de Aristóteles (EP2).

#### EP1 por A1 e A2

Em nível de hipótese os participantes A1 e A2 levantaram que para o caso do navio em repouso a esfera cairia próxima ao seu mastro, considerando que este estivesse em repouso. Quanto à trajetória o inferido pelos acadêmicos foi ser retilínea para os dois observadores. Todavia, quando o navio estivesse em movimento, A1 e A2 levantaram a hipótese de que a esfera cairia fora do navio e que a trajetória seria uma diagonal independente de qual observador a definisse. A Figura 31 traz a representação que os estudantes construíram para a situação.

Figura 31 - Representação utilizado por P1 e P2 para a situação do navio em movimento em relação a margem.

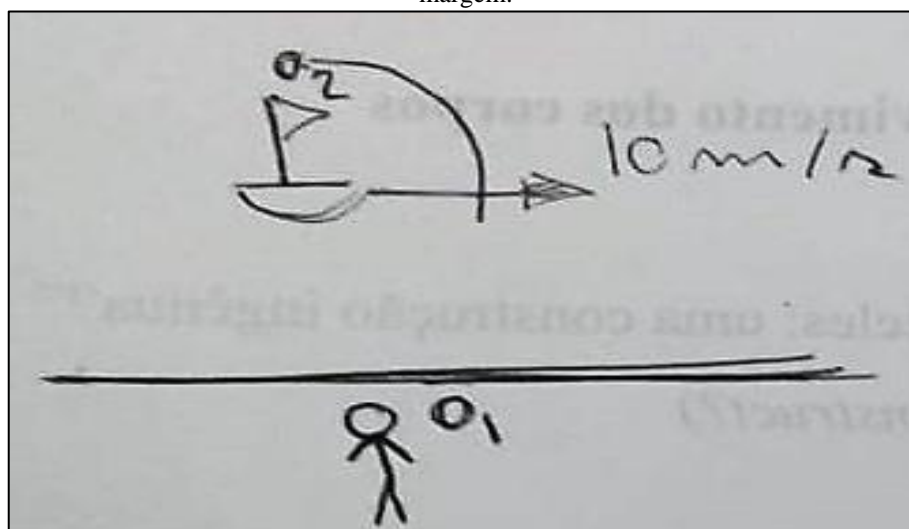


Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Com a realização da atividade, A1 e A2 chegaram a um resultado bastante semelhante ao das hipóteses, com a reformulação de alguns detalhes e a formalização de algumas propriedades fundamentais. Ao término dos procedimentos da atividade os estudantes concluíram que de fato a esfera cairia fora do navio (quando este estivesse em movimento em relação a margem). Notadamente, uma das correções feitas pelos estudantes diz respeito à trajetória da esfera, onde foi possível perceber que eles atribuíram uma diferença correspondente à qual referencial ela seria definida, ou seja, cada observador definiria uma trajetória diferente e condizente com o seu referencial. O observador em repouso no topo do mastro definiria uma trajetória retilínea e vertical, já o observador em repouso na margem, definiria uma trajetória parabólica. Porém, os acadêmicos continuaram defendendo que a esfera cairia fora do navio.

A seguir, conforme pode ser observado na Figura 32, construída por A1 e A2, ilustra-se como eles interpretaram a definição da trajetória feita pelo observador em repouso em relação à margem.

Figura 32 - Representação utilizado por A1 e A2 para a situação do navio em movimento em relação a margem.

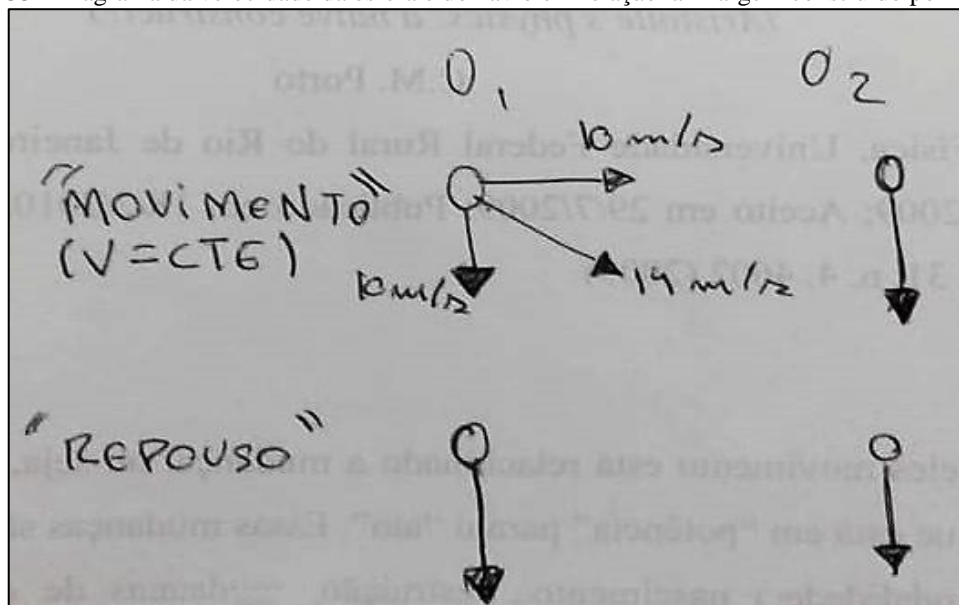


Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

A construção feita por A1 e A2 da trajetória definida pelo observador em repouso em relação a margem está coerente, em contrapartida a posição de queda da esfera está equivocada como se pode ver na Figura 32. A parte interessante é que A1 e A2 fizeram uma construção adequada vetorialmente para a composição dos movimentos, chegando a calcular de forma aproximada a velocidade resultante da esfera em relação ao observador na margem. Essa construção pode ser constatada na Figura 33, onde eles constroem um diagrama da velocidade

da esfera e do navio em relação a margem e o utilizam para determinar a velocidade resultante da esfera.

Figura 33 - Diagrama da velocidade da esfera e do navio em relação a margem construído por A1 e A2.

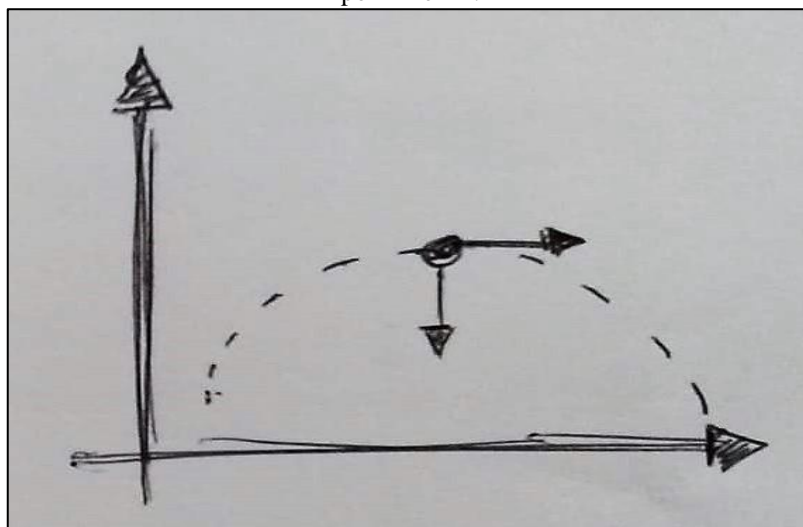


Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

## EP2 por A1 e A2

Na semana seguinte (terceiro encontro) foi realizado o segundo EP, seguindo o proposto. Este experimente remetia à queda dos corpos, a exemplo do anterior, e poderia ser resolvido utilizando argumentos muito semelhantes ao utilizados no EP1. Muitos dos conceitos a serem empregados na realização deste EP são os mesmos dos utilizados no EP do Navio de Galileu. Os acadêmicos A1 e A2, em nível de hipótese, definiram corretamente as trajetórias, assim como a posição de queda da esfera. No que diz respeito à realização da atividade podemos extrair informações mais ricas. Por exemplo, em relação à trajetória, A1 e A2 afirmaram corretamente que ela deve ser aproximadamente, uma parábola completa quando definida por um observador em repouso em relação a  $S_1$ . A Figura 34 ilustra a representação mencionada pelos acadêmicos.

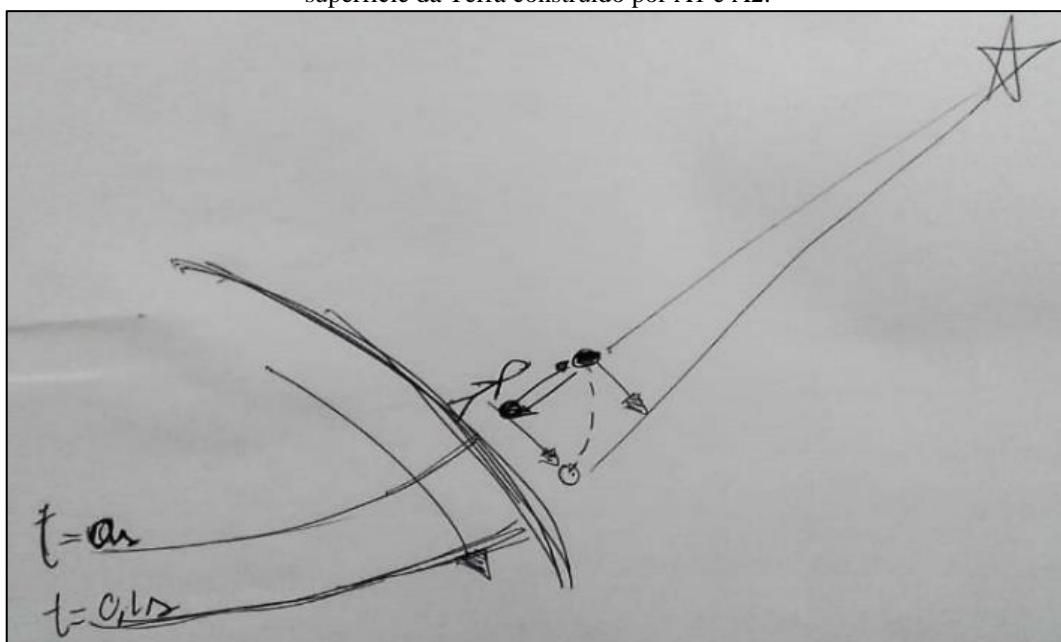
Figura 34 - Diagrama de representação do movimento realizado pelo corpo em relação a S1, construído por A1 e A2.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Na sequência da descrição A1 e A2 desenham a mesma situação, porém contextualizando o observador e a Terra. Nessa nova representação ilustrada na Figura 35, identificamos uma inconsistência em relação às afirmações anteriores.

Figura 35 - Representação do movimento realizado pelo corpo em relação a S1, definido em um ponto sobre superfície da Terra construído por A1 e A2.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Uma inconsistência identificada está relacionada à trajetória, que segundo o texto e a fala dos acadêmicos é uma parábola completa, todavia, na figura eles representaram apenas meia parábola. É difícil afirmar se esse foi um equívoco conceitual ou uma dificuldade de

representação dos acadêmicos, mas de qualquer forma as duas fontes de materiais (escrita e gráfica) se mostram em certa medida inconsistentes.

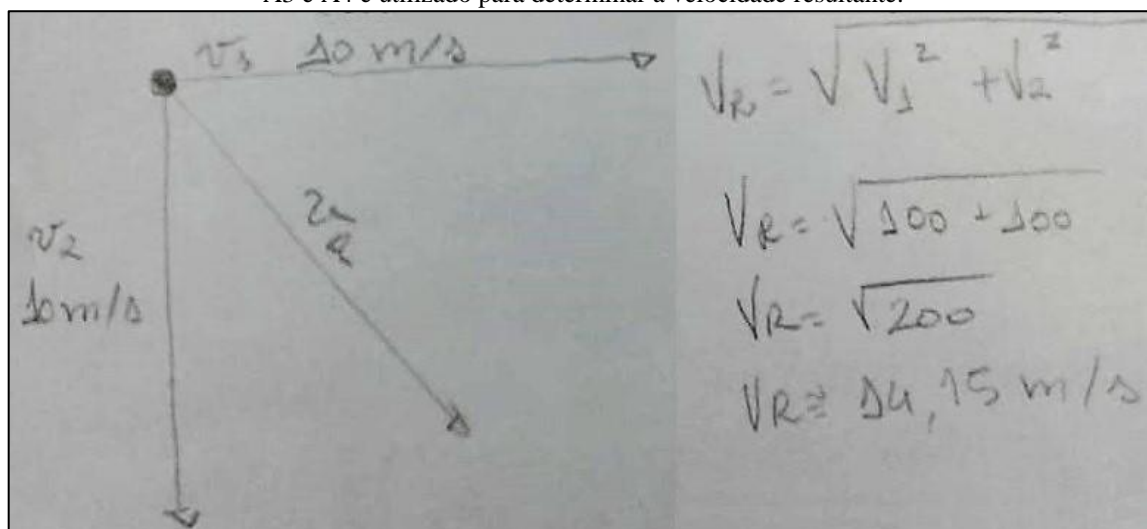
### **EP 1 por A3 e A4**

No EP associado ao navio de Galileu e em relação ao barco em repouso em relação a margem, A3 e A4 definem a nível de hipótese que a esfera cairá logo abaixo do mastro com uma trajetória retilínea, tanto para o observador  $O_1$ , como para o observador  $O_2$ . Para o barco em movimento as hipóteses foram de que para o observador  $O_2$  a trajetória seria também retilínea, como no caso do navio em movimento. Para justificar tal resultado A3 e A4 registraram que:

Para  $O_2$  a esfera percorrerá uma trajetória reta para baixo (tal como com o barco em repouso), pois como ele se desloca de oeste para leste, a inércia desse movimento sob a esfera resulta na impressão, para  $O_2$ , de que a esfera não se desloca de oeste para leste com relação a sua posição.

Seguindo a realização do EP, A3 e A4 constroem uma representação coerente em relação a composição dos movimentos vertical e horizontal da esfera como argumento para descrever que sua trajetória em relação a  $O_1$  não será igual da descrita em relação a  $O_2$ . Porém, percebemos falta de clareza no que diz respeito ao formato da trajetória, visto que os estudantes definem apenas as componentes e, conseqüentemente, a resultante das velocidades, como mostra a Figura 36.

Figura 36 - Diagrama de representação do movimento realizado pelo corpo construído por A3 e A4 e utilizado para determinar a velocidade resultante.



Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

### EP2 por A3 e A4

Para o segundo EP, realizado na semana seguinte, os acadêmicos definiram, a nível de hipótese, que a esfera cairia na posição logo abaixo da que foi lançada, independentemente do referencial adotado. Com relação a trajetória, A3 e A4 definiram que a esfera desenvolveria uma trajetória vertical e retilínea em relação a  $S_2$  e parabólica em relação a  $S_1$ . Durante a realização da atividade os estudantes, de certa forma, corroboram as hipóteses, porém, novamente foi identificado uma falta de clareza, ou confusão, entre os conceitos de composição de velocidades e formato da trajetória. Os acadêmicos registraram durante o EP que: “Para o observador em  $S_1$  a esfera descreve dois movimentos distintos, ambos parabólicos”. Para os estudantes, esses dois movimentos estão associados ao movimento de rotação e de translação do planeta Terra. Como eles consideraram esses dois movimentos (diferentemente dos demais que consideraram somente a rotação) surgiu dificuldade na representação gráfica de como seria a trajetória.

### b) Videograções

Para ampliar o contingente de materiais produzidos durante as atividades, optamos por recorrer a videograções do ambiente no qual estavam sendo desenvolvidas as atividades, bem



como de cada um dos grupos durante a realização dos dois EPs. Tais filmagens possibilitaram a obtenção de um conjunto de produções as quais passamos a analisar nesta seção.

### **EP1 por A1 e A2**

Na gravação é possível identificar que A2 manifesta em diálogo com A1, a intenção de determinar quantitativamente por meio de uma função matemática a posição da esfera. Nas palavras de A2: *“Eu estava pensando aqui em determinar a posição da esfera no instante zero e no instante 1,0 s, ou pelo menos uma função que desce a posição no instante zero e no instante 1,0 s”*. Entretanto, ao buscar por esses valores, A2 percebe que são de fácil manipulação matemática e opta por fazer tudo mentalmente. A velocidade final da esfera na vertical, foi determinada de forma coerente pelos acadêmicos (10 m/s), porém, ao definir a altura do mastro, eles cometem um equívoco, definindo um valor de 10 m, que na verdade trata-se do alcance horizontal da esfera quando definido por O1. Esse valor poderia ter sido obtido pelos estudantes considerando constante a velocidade horizontal da esfera, argumento que pode ser utilizado pela condição de se desconsiderar qualquer influência que não seja a da gravitação terrestre. Para a determinação da altura do mastro os estudantes precisariam ter considerado a componente vertical do movimento, que se trata de um movimento acelerado, e, portanto, o valor da altura do mastro seria diferente de 10 m. Outro argumento que ficou confuso foi a fala feita por A2 de uma velocidade “final” para o movimento horizontal da esfera medida por O1 (10 m/s), o que, sob o ponto de vista do valor está correto, entretanto, não faz sentido falar em velocidade final na horizontal, uma vez que ela pode ser considerada constante ao longo de todo o movimento de queda, segundo as condições impostas ao EP.

Outro momento do diálogo entre A1 e A2 que merece destaque é quando eles tentam definir a trajetória da esfera observada por O1 e O2. Nessa parte do diálogo eles definem em comum acordo a trajetória como sendo uma semiparábola quando observada por O1, porém, inicialmente apresentam dificuldade em definir a trajetória vertical e retilínea observada por O2. Em um primeiro momento eles definem uma semiparábola, porém, em sentido contrário a aquela observada por O1, todavia, posteriormente A1 chama a atenção de que se trata de um movimento com velocidade constante, e que por essa razão a trajetória definida por O2 deveria ser vertical e retilínea.

A2, em certo momento de sua fala, afirma que *“se o observador está se movendo com velocidade constante tudo se comporta como se ele estivesse em repouso”*. Essa afirmação de

A2 refere-se a uma demonstração fundamental acerca de seu entendimento (implícito ou explícito) sobre o princípio da relatividade galileano. Na sequência, A1 prossegue afirmando que isso é verdadeiro apenas para referenciais inerciais, que são aqueles que não possuem aceleração.

No diálogo, A2 afirma que a esfera diminui sua velocidade e “perde” energia cinética. A2 concorda com a afirmação de que a energia cinética diminui ao longo da queda, porém não fica claro que ele está considerando o efeito da resistência do ar ou não, o que talvez estivesse embasando as afirmações, todavia, mesmo com o efeito dissipador do ar a energia cinética tenderia a aumentar ao longo da queda e não diminuir. Esse aumento está atrelado ao aumento do módulo da componente vertical da velocidade.

### **EP2 por A1 e A2**

Inicialmente A2 relata estar com dificuldade em separar a parte das hipóteses em relação a atividade em si. Tal dificuldade provavelmente está atrelada a consideração já feita anteriormente, sobre a natureza da atividade, ou seja, por se tratar de um EP, esses passos são difíceis de serem rigidamente controlados. A1 afirma que a esfera, em relação a  $S_1$  descreveria um movimento parabólico pelo fato de que em 0,1s (tempo de subida e descida da esfera) a esfera e a Terra teriam se deslocado a mesma distância para um observador em  $S_1$ . Porém, na continuidade do diálogo, A1 afirma que dependendo da posição em que o observador em repouso em relação a  $S_1$  realiza a observação, ele também poderia observar uma linha reta. Ou seja, segundo A1 se for realizada a observação de forma paralela a uma tangente da linha do equador se registraria uma linha reta, porém se fosse realizada a observação perpendicularmente a uma tangente da linha do equador, se observaria uma parábola. Nesse momento do diálogo ambos os participantes concordam que esse problema mostra novamente como a definição, tanto do estado de movimento como das propriedades do mesmo, dependem de como se fazem essas observações e medições. Todavia, na fala de A1 e A2 não fica clara a distinção entre observação e medição, ou seja, algumas das possibilidades citadas por eles estão atreladas a observação e não exatamente a medição.

Ainda nesse EP, A1 e A2 definem dois instantes do movimento da esfera, entretanto, definem que 0,1 s é somente o tempo de descida (não é possível afirmar se tratasse de um equívoco conceitual ou apenas um erro de representação). No diálogo, ao término da atividade

o participante P2 comenta com seu colega que entendeu a relação entre essa situação e a da semana anterior, ou seja, entre o EP2 e o EP1.

### **EP1 por A3 e A4**

Com relação ao problema da atividade 1, mencionamos que durante a resolução não surgiram muitas discussões, visto que quase imediatamente os acadêmicos chegaram a um consenso. Porém, um ponto interessante a ser destacado no diálogo entre A3 e A4 foi com relação a dificuldade em fazer algumas das abstrações necessárias para a visualização mental dos eventos. O ponto a ser destacado é que o participante A4 afirma ter dificuldade em imaginar a água totalmente em repouso, sem nenhum tipo de oscilação ou ondulação, nas suas palavras: “[...] *automaticamente quando você imagina um barco na água, você imagina a água oscilando*”. A inferência de A3 no diálogo foi de concordância com a situação relatada por A4: “*Pois é, eu também não consigo imaginar a água totalmente parada, ou está oscilando ou com correnteza*”.

Essa dificuldade mencionada por A4 e A3 pode estar relacionada a alguma construção mental prévia que os acadêmicos trazem sobre como representar um barco sobre a água. Na realização de EPs não se executa a manipulação de objetos físicos como em experimentos concretos, e sim de imagens mentais. Segundo Reiner (1998) as imagens podem ser de dois tipos: corporais ou visual-pictóricas. Com relação as imagens visuais-pictóricas, a autora mencionada que são criadas a partir de uma situação animada pela mente do sujeito. Os elementos envolvidos nessa criação não foram vivenciados anteriormente em nenhuma situação real, e muitas vezes isso nem seria possível. Já as imagens corporais estão relacionadas a experiências concretas vivenciadas pelo sujeito. Certamente tanto A3, como A4, já vivenciaram experiências concretas onde interagiram com a superfície de um lago, rio ou oceano. Provavelmente, nessas experiências a superfície da água nunca estava totalmente em repouso, sem nenhum tipo de vibração, ondulação ou correnteza. Nesse sentido, pode ser que a imagem, que pode ser considerada como corporal, era de uma superfície sempre possuindo algum tipo de movimento devido a essa vivencia prévia dos estudantes.

Na construção da representação acerca do movimento da esfera quando observado por O1, A4 faz as seguintes colocações em seu diálogo com A3: “[...] *a esfera tem um movimento em x e outro em y, nesse caso o movimento da esfera é a resultante desses dois movimentos*”. Com essa fala A4 demonstra um entendimento bastante elaborado sobre a ideia de composição

bidimensional de movimentos. A4 ainda menciona que a diferença nas trajetórias definidas por O1 e O2 está relacionada a inércia do movimento da esfera, o que faz com que o movimento pareça retilíneo para O2 e parabólico para O1.

### **EP2 por A3 e A4**

Com relação ao segundo EP, uma primeira dificuldade apresentada por A3 e A4 foi sobre os sistemas de referência inerciais. Sobre isso A4 pergunta a A3: “*Esses referencias estão onde, na Terra?*”. No restante deste trecho do diálogo ambos os acadêmicos demonstraram confusão sobre a utilização dos sistemas de referência, inferindo a necessidade de este estar atrelado a uma posição específica no espaço.

O texto orientador do EP mencionou que o tempo de subida e descida da esfera, seria de 0,1 s. Ao se deparar com esse dado A3 apresenta bastante dificuldade na visualização mental do movimento vertical e de um objeto que levaria apenas 0,1 s para se deslocar. Esse dado foi colocado propositalmente no sentido de aumentar o grau de abstração do EP e também para que fosse possível (caso algum participante desejasse) testar a hipótese aristotélica para o resultado da experiência. Ou seja, de acordo com a Física aristotélica no instante que se abandonasse a esfera, no caso do planeta Terra estar em movimento de oeste para leste, a esfera cairia certa distância a oeste do local de lançamento. Se fosse feito o cálculo com a velocidade tangencial fornecida no enunciado do EP se chegaria ao resultado absurdo de, aproximadamente 46 m, isso considerando o tempo de subida e descida de somente um décimo de segundo, o que resulta em um deslocamento vertical extremamente pequeno, de aproximadamente 0,012 m, em relação a um deslocamento horizontal de, aproximadamente, 46 m.

Ao se questionar sobre a possibilidade de ocorrência de um movimento vertical que leve apenas 0,1 s (o que é perfeitamente possível desde que a altura fosse muito pequena), A4 faz a seguinte argumentação inicial: “*Qual é o peso desse objeto para que o movimento fosse com um tempo tão pequeno?*”. Ao longo do diálogo e com a intervenção do pesquisador, A4 concluiu que o tempo do movimento seria o mesmo independentemente do peso, e que na verdade o que se alteraria seria o trabalho realizado para realizar o lançamento. A partir disso A4 afirma: “[...] *quanto maior for a massa maior será o trabalho necessário para gerar o mesmo movimento*”.

Em um determinado momento o texto orientador questiona sobre a possibilidade de com os resultados obtidos pelo EP afirmar se a Terra gira ou não. Sobre esse aspecto A3 e A4

levantam várias argumentações sobre a possibilidade de se utilizar o modelo geocêntrico ou heliocêntrico para o entendimento de alguns eventos celestes, tal como o movimento aparente do Sol. Mas também falam sobre a incoerência em assumir que para a Terra estar “parada”, tal argumento, segundo eles, implica em que todo o universo deveria se mover “seria muito mais gasto de energia”.

No que diz respeito a trajetória descrita pela esfera em relação a S1 os acadêmicos tiveram dificuldade ao considerar o movimento de rotação e translação da Terra. Isso ocorreu porque, com base nos diálogos, eles tiveram dificuldade de representar uma trajetória sobre a Terra que seria o resultado dos movimentos rotacional e translacional do planeta. A4 afirmou em uma de suas falas que deveriam existir dois efeitos, um atrelado a rotação e outro a translação. Destacamos que a interpretação de A4 foi correta, porém, o nível de dificuldade na representação aumenta significativamente com a composição desses dois movimentos, resultando no fato de que os estudantes não conseguiram fazer a representação gráfica da situação.

### **Momentos de discussões coletivas**

#### **EP1**

No primeiro EP identificamos que o compartilhamento e as discussões realizadas coletivamente, ao final da realização do EP, possibilitaram ampliar consideravelmente o alcance dos experimentos. Por exemplo, A4 fala da composição dos movimentos, A2 fala que o movimento começa quase somente horizontal e vai se tornando cada vez mais vertical até certo momento se tornar totalmente vertical e nada horizontal. Os participantes mencionam a dificuldade em relação a fixar-se em um referencial, por exemplo, para observar a trajetória de um objeto em queda de um prédio fixando o referencial em um carro que passa com velocidade constante  $V$ . A4, por sua vez, menciona a dificuldade em definir o estado de movimento dos objetos a partir de um referencial que não seja a Terra: “*a gente está tão acostumada a dizer que o movimento é relativo, mas na hora de definir esse movimento no geral utilizamos a Terra como referencial imóvel*”.

## EP2

No que diz respeito às discussões correspondentes ao segundo EP, ressaltamos que A3 e A4 definem algo importante, ou seja, o fato da trajetória ser parabólica para um observador em repouso em relação a S1 não significa necessariamente que ele definirá que a posição de queda da esfera será para longe do local de lançamento definido como um ponto sobre a superfície da Terra, ou seja, continuará caindo logo abaixo do local de lançamento assim como definido por S2. Nas palavras de A2: *“Um observador em S1 observaria uma parábola, mas a esfera ainda cairia nos pés de quem fez o arremesso”*. Nessas falas, particularmente nas expressas por A2 e A4, percebemos claramente que estes estabeleceram de forma satisfatória a relação desta atividade com a do navio de Galileu trabalhada na semana anterior. Nas palavras de A2: *“A diferença dessa atividade e da outra é que nessa a esfera descreve um movimento oblíquo completo e na outra é apenas uma parte, porque o movimento já começa no ponto mais alto”*.

### 5.5.3 Discussão dos resultados do estudo piloto

Esta seção se ocupa em focar no processo de análise da formação e utilização de conceitos por parte da população investigada. Retomando o questionamento central do estudo – como os elementos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante a realização de EPs em Física podem ser representativos de indícios de aprendizagem significativa? -, percebemos que o foco de análise se constitui nos processos cognitivos mobilizados pelos acadêmicos durante a realização dos EPs, e que podem estar relacionados com os indícios de aprendizagem significativa. Compreendemos e destacamos que, como esses experimentos foram estruturados com o intuito de promover uma tarefa de aprendizagem relacionada a atividade de resolução de problemas, também existe a necessidade do emprego de proposições. Nesse sentido, o padrão buscado nos dados decompostos, notadamente, está relacionado aos conceitos, princípios e proposições utilizados e/ou formados pelos participantes do estudo durante a realização dos EPs.

Os conceitos, princípios e proposições, estão dispostos em quadros para melhor visualização. Esses estão organizados separadamente para cada dupla de trabalho, trazendo na sequência a discussão acerca deles. A discussão que segue no texto é referente aos dados da atividade como um todo, ou seja, das discussões das duplas juntamente com os diálogos

coletivos referentes aos dois EPs. O Quadro 6 apresenta os conceitos, princípios e proposições referentes aos participantes A1 e A2.

Quadro 6 - Conceitos, princípios e proposições referentes aos participantes A1 e A2.

<b>Conceitos, princípios e proposições emergentes dos dados de A1 e A2</b>	
<i>Conceitos e princípios</i>	<i>Proposições</i>
• Princípio da relatividade galileano	1. Se o observador está se movendo com velocidade constante tudo se comporta como se ele estivesse em repouso.
• Conservação de energia mecânica	2. Ao longo da queda a esfera “perde” energia cinética.
• Composição de movimentos	3. A trajetória é parabólica para O1, mas a esfera cai fora do barco.
• Sistema de referência inercial	4. Referencial inercial é o que não possui aceleração, portanto tudo se comporta como se ele estivesse em repouso.

Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Os EPs utilizados no presente estudo foram organizados na forma de situações-problema. Para essa categoria de situação os estudantes precisam partir de algumas proposições já estabelecidas no momento da atividade de resolução de problemas, a essas proposições Ausubel (2003) dá o nome de proposições de substrato. O autor divide as proposições de substrato em dois tipos: “(1) proposições de colocação de problemas, que definem a natureza e as condições da situação problemática atual; e, (2) proposições anteriores, que consistem em aspectos relevantes de conhecimentos anteriormente adquiridos (informações, princípios) que se apoiam no problema” (AUSUBEL, 2003, p. 96).

As proposições de colocação de problema foram definidas e discutidas com os estudantes de forma expositiva, o que vai ao encontro das ideias do referencial teórico. Essas proposições variam de um EP para outro e estão relacionadas basicamente as condições e idealizações de cada situação proposta. Por exemplo, no EP do navio de Galileu: a água deve ser totalmente plana, deve estar em repouso em relação a margem e não possuir nenhum tipo de ondulação ou vibração; o navio pode estar em dois estados de movimento distintos, repouso ou MRU; o observador O1 está em repouso em relação a margem e o observador O2 em repouso em relação ao navio. Todas essas proposições na verdade possuem um único propósito, que é estabelecer as condições para que em todos os casos os objetos envolvidos no EP possam ser considerados corpos de referência inerciais.

No que diz respeito as proposições anteriores, buscamos seus indícios com a aplicação do teste inicial, cujos resultados serviram de referência para a estruturação dos EPs, de forma a que a atividade pudesse ser considerada como potencialmente significativa. Todavia, mesmo com esse cuidado não temos garantia que os participantes relacionem de forma substancial e não arbitrária as proposições de colocação de problema com as proposições anteriores, formando e utilizando conceitos no processo. Nesse sentido, por meio dos dados decompostos, buscamos identificar quais proposições anteriores os estudantes empregaram durante a tarefa

de resolução de problemas, e como estas se relacionaram com as proposições de colocação de problema.

Com relação aos dados referentes a A1 e A2 apenas duas das proposições elencadas parecem se relacionar de forma significativa e conceitualmente correta com as proposições de colocação de problema utilizadas. Trata-se da proposição de número 1 e número 4 apresentadas no Quadro 8. No que diz respeito à proposição de número 1, que remete a uma ilustração do princípio da relatividade inerente a Física Clássica, identificamos que os estudantes evocam corretamente e claramente a proposição e a aplicam de forma competente na resolução do problema relacionado ao EP do navio de Galileu.

A proposição de número 2 apresenta indícios de que os estudantes, de fato, não compreenderam com a clareza necessária em toda a sua abrangência a razão pela qual a trajetória da esfera é parabólica. Nos diálogos eles afirmam que a esfera “perde” energia cinética e devido a isso o seu movimento que, inicialmente era totalmente horizontal, vai ficando cada vez mais vertical. Segundo a conclusão dos estudantes, em um determinado momento a esfera deveria se mover somente na vertical. Optamos no momento da estruturação do EP por deixar em aberto a proposição acerca da possível influência do ar no experimento. Todavia, observamos que os estudantes não fizeram nenhuma menção a essas possíveis influências. Obviamente que se o ar fosse considerado é verdade que em algum momento, devido às dissipações de energia, o movimento teria velocidade horizontal nula. Porém, salienta-se que a energia cinética não poderia diminuir, visto que na vertical a força peso continuaria atuando.

A proposição número 3 remete a duas características interdependentes do ponto de vista físico. Novamente, definindo a influência ou não do ar, poderiam haver alguns desvios tanto na trajetória, como na posição de impacto da esfera ao atingir o chão. Todavia, se fosse considerado o efeito dissipativo do ar, a posição de impacto deviria ser desviada em uma quantidade no sentido contrário ao movimento. Porém, na representação gráfica criada por A1 e A2 a esfera cai fora do navio, a uma distância, respectivamente no mesmo sentido de seu movimento.

No que diz respeito à proposição número 4, os estudantes trouxeram uma definição de referencial inercial condizente a que se encontra na maioria dos livros-texto de Física geral. Essa proposição aplicada na resolução dos problemas como as propostas neste estudo, mostrou-se bastante clara, principalmente para A2, que mencionou em vários momentos este enunciado em suas falas.

A seguir, conforme apresentado no Quadro 7, é possível observar as respostas dos participantes A3 e A4.



Quadro 7 - Conceitos, princípios e proposições referentes aos participantes A3 e A4.

<b>Conceitos, princípios e proposições emergentes dos dados de A3 e A4</b>	
<i>Conceitos e princípios</i>	<i>Proposições</i>
• Composição de movimentos	1. Existe um movimento em x e outro em y, juntando os dois resulta no movimento da esfera.
• Movimento inercial	2. A inércia desse movimento sob a esfera resulta na impressão, para O2, de que a esfera não se desloca de oeste para leste.
• Sistema de referência inercial	3. O observador precisa estar “no sistema de referência inercial”.
• Trabalho mecânico	4. Quanto maior a massa maior será o trabalho necessário para realizar o mesmo movimento.

Fonte: Dados de pesquisa, 2018.

Uma das proposições importantes que foi mencionada e utilizada por A3 e A4 durante a realização dos dois EPs foi a número 1, que pode estar relacionada ao conceito de composição bidimensional dos movimentos. Os estudantes empregaram esse conceito em ambas as atividades, inclusive se serviram dele para calcular de forma aproximada a velocidade resultante da esfera no EP1. Todavia, a argumentação sobre essa ideia parece não estar adequadamente formalizada, ou seja, os estudantes não especificam ou diferenciam os referentes a composição das velocidades em um determinado instante e a formação da trajetória parabólica ao longo de todo o movimento.

Nesse sentido, podemos elaborar ao menos duas hipóteses acerca do conceito de movimento bidimensional tal como empregado pelos estudantes: primeiro que eles podem estar utilizando um grau de elaboração não muito elevado acerca desse conceito; segundo, que o problema não está no grau de elaboração ou diferenciação, mas na dificuldade de representação e/ou verbalização em relação às atividades propostas. Quais dessas possibilidades estão ocorrendo, é algo que o presente estudo deixa em aberto, uma vez que não há elementos suficientes para inferir o que de fato está ocorrendo.

Durante a realização das duas atividades, A3 e A4 utilizam a proposição número 2 como argumento para a trajetória observada. A proposição, claramente, pode ser relacionada com o princípio da inércia. Ou seja, existe a tendência de um corpo que está em movimento retilíneo e uniforme ou em repouso, permanecer nesse estado. Essa “tendência” pode ser utilizada, com as devidas aproximações e idealizações, para corroborar com as hipóteses levantadas por A3 e A4.

A ideia relacionada a um Sistema de Referência Inercial, refere-se a uma abstração, ou seja, ela está atrelada a um sistema de coordenadas em condições inerciais em relação ao qual pretende-se, ou pode-se definir grandezas e/ou eventos físicos. As coordenadas espaciais de um determinado objeto ou evento físico, podem, ou não, coincidir com a origem desse sistema de

coordenadas. Na maioria dos estudos relacionados a cinemática ou dinâmica o mais significativo não são as coordenadas espaciais em relação a um sistema de referência inercial definido arbitrariamente, mas o estado de movimento em relação ao mesmo. A proposição número 3 remete a uma dificuldade relacionada a essas ideias expressa oralmente pelos estudantes A3 e A4.

A proposição número 4 surgiu diante de uma dificuldade apresentada por A3 e A4 na imaginação de um movimento vertical que acontecesse em apenas um decimo de segundo. Ao ser apresentado esse dado, A4 questionou o pesquisador de quanto deveria ser a massa da esfera para que levasse um intervalo de tempo tão pequeno para subir e retornar ao solo. Ao longo do diálogo e com as devidas intervenções do pesquisador, A4 esclareceu que na verdade a massa não deveria influenciar no tempo de queda, desde que se desprezasse a resistência do ar. Todavia, a massa influenciaria no valor do trabalho realizado para que se pudesse gerar tal movimento.

Nenhum dos princípios e conceitos apresentados nos Quadros 6 e 7 foram explicitamente citados pelos estudantes durante a atividade. A constatação de que estes possuíam e/ou construíram algum conhecimento acerca deles, foi atribuída por meio principalmente das proposições e dos caminhos percorridos na resolução dos problemas. Todavia, podemos fazer uma inferência importante no que diz respeito a abrangência das ideias empregadas. Considerando estritamente a formação de conceitos, podemos dizer que, de acordo com a TAS, trata-se de um processo relacionado a abstrair as características comuns e essenciais de uma classe de objetos e/ou fenômenos chegando a uma representação genérica para os mesmos. Nesse sentido, a perspectiva teórica define duas classes de termos conceituais: aqueles mais particularizados que se constituem de uma imagem modelada ou idealizada de um conceito relativamente concreto; e, os resultantes de várias combinações de significados conceituais que constituem conceitos mais abstratos e complexos.

Consequentemente quanto mais abstrato e complexo for o conceito, mais abrangente ele se torna, podendo ser aplicável em uma gama cada vez mais ampla de situações. Entre a primeira atividade (EP1) e a segunda (EP2) percebemos de forma geral em todos os participantes um refinamento na aplicação das proposições e na utilização dos conceitos. Os mesmos também reconheceram explicitamente em suas falas que haviam percebido que a aplicação daquelas ideias poderia ser válida para qualquer situação, desde que os referenciais fossem considerados inerciais.

#### 5.5.4 Considerações finais do estudo piloto

O apresentado refere-se aos resultados e caminhos percorridos na busca por elementos que permitam qualificar ou aprimorar o desenvolvimento do estudo definitivo. Nesta reflexão partimos da problematização anunciada na Introdução e avaliamos as escolhas realizadas e os aspectos de potencialidade e fragilidade identificadas com a realização do estudo piloto.

O ponto de partida da presente tese se situa nas contribuições dos EPs para a produção do conhecimento em Física e, por consequência, sua viabilidade no contexto educacional sob a perspectiva da aprendizagem significativa. Delimitamos a investigação em termos da identificação de como os elementos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante a realização de EPs podem ser representativos de indícios de aprendizagem significativa. Partimos, portanto, do entendimento de que eles em algum grau favorecem a apropriação dos conhecimentos, todavia, precisamos analisar como os elementos decorrentes da utilização dos EPs são mobilizados e se isso é suficiente para obtermos indícios de aprendizagem significativa.

Frente ao realizado no estudo piloto, verificamos que os sujeitos participantes utilizaram proposições relacionáveis com os seguintes conceitos e princípios físicos: princípio da relatividade clássica; conservação de energia, trabalho mecânico; composição de movimentos; referencial inercial e princípio de inércia. Entre a primeira atividade (EP1) e a segunda (EP2) percebemos, de forma geral, em todos os participantes um refinamento na aplicação das proposições. Os mesmos também reconheceram explicitamente em suas falas que haviam percebido que a aplicação daquelas ideias poderia ser válida para qualquer situação, desde que os referenciais fossem considerados inerciais. O que leva a inferir como primeiros resultados que os EPs podem contribuir para a estruturação do pensamento de forma a estabelecer na estrutura cognitiva uma estrutura de ideias cada vez mais geral e inclusiva.

Em termos da validade do estudo piloto, destacamos que a sua realização permitiu identificar potencialidades e fragilidades na proposta. No que diz respeito as potencialidades, foi possível constatar que o formato dos EPs na forma de situações-problema se revela promissor, no sentido de oportunizar a reflexão e o conflito das hipóteses com ideias mais elaboradas que surgem no decorrer da atividade. A ideia de dispor os EPs em dois encontros, e estes serem relacionáveis entre si como uma extensão de aplicabilidade dos mesmos princípios e conceitos, se revelou igualmente promissor. Outro aspecto identificado no estudo realizado foi o aprimoramento na elaboração mental dos conceitos dos estudantes, especialmente no momento em que identificaram que poderiam utilizar essas leis de forma universal (desde que algumas condições fossem satisfeitas).

Em termos das fragilidades evidenciamos primeiramente que poder-se-ia ter relacionado de forma mais efetiva os elementos do referencial teórico no momento de discussão dos resultados. Outra questão está relacionada ao fato de que o estudo foi aplicado com um grupo reduzido de estudantes e em um ambiente controlado e monitorado, o que difere significativamente do ambiente natural de sala de aula. Tal situação levou a propor modificações para o estudo definitivo. A primeira delas está relacionada ao contexto de sua aplicação, que para o estudo definitivo foi um ambiente natural de sala de aula. Os EPs foram aplicados com duas turmas de um curso de licenciatura em Física, o que resultou também no aumento do número de indivíduos participantes do estudo. O segundo aspecto modificado para o estudo definitivo foi o estabelecimento de categorias *a priori* para a análise dos dados. Estas foram definidas a partir de elementos presentes na TAS e se constituíram a partir da hierarquização dos significados em subordinados, superordenados e combinatórios, conforme sugerido pelo referencial teórico.

## 6 EXPERIMENTOS DE PENSAMENTO EM SALA DE AULA – ESTUDO DEFINITIVO<sup>15</sup>

O presente capítulo se dedica à descrição e à análise do estudo desenvolvido com dois grupos de professores de Física em processo de formação inicial, denominados de “Acadêmicos” ou “Estudantes”. Cada grupo foi constituído por uma população distinta e vinculada a diferentes componentes curriculares do curso de Física-L, *locus* da pesquisa empírica. Neste contexto, destacamos que o texto que segue se ocupa de discutir as reformulações realizadas a partir do estudo piloto, bem como de descrever o contexto e a população que constitui esse segundo momento de aplicação (estudo definitivo), envolvendo seus episódios, organização didática das atividades, forma como os encontros foram estruturados e os resultados obtidos. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa conforme registro no ANEXO B desta tese<sup>16</sup>.

### 6.1 Reformulações realizadas a partir do estudo piloto

O capítulo anterior se ocupou de descrever o estudo piloto com suas escolhas metodológicas e resultados após a aplicação de dois EPs com um grupo de estudantes de um curso de Física –L. Como continuidade, projetamos um novo estudo empírico desenvolvido a partir da experiência vivenciada com a aplicação deste estudo inicial e dos apontamentos da banca de qualificação. Dessa forma, mencionamos a importância do exame de qualificação como forma de avaliar o desenvolvido, confrontando-o com o pretendido. Essa etapa de avaliação, particularmente enriquecida pela aplicação do estudo piloto, representa uma forma de monitoramento do estudo frente ao seu objetivo de forma a corrigir possíveis equívocos, avaliar as ações e, se necessário, alterar os caminhos desenhados para o estudo.

Neste sentido, em consonância com as fragilidades e as potencialidades verificadas por meio da análise do estudo piloto e dos apontamentos da banca de qualificação, destacamos algumas reformulações realizadas para a versão final da tese aqui apresentada. Uma das fragilidades observadas, por meio do estudo piloto, e também mencionada pela banca de qualificação, foi referente ao número bastante reduzido de sujeitos que constituíram o *corpus* do estudo. Tal apontamento levou a desenvolvermos a nova etapa da pesquisa com dois grupos

---

<sup>15</sup> O termo “estudo definitivo” é empregado ao segundo estudo desenvolvido, não se tratando de uma menção a ideia de que o conhecimento dessa área foi esgotado e, portanto, é definitivo. Ou seja, a utilização do termo está no sentido de estudo desenvolvido em decorrência do estudo piloto.

<sup>16</sup> Parecer CEP 3.671.380.

de estudantes, totalizando agora dez sujeitos. Cada um dos dois grupos contempla estudantes de turmas situadas em diferentes níveis do curso, a saber: nível VI e nível VIII<sup>17</sup>. Julgamos que essa diferença nos níveis em que os estudantes se encontram contribuiu para enriquecer os dados da pesquisa.

Também, expandimos a variedade de EPs analisados, sendo que no estudo piloto eram dois episódios e no estudo definitivo passaram a ser quatro, isto é, dois para cada grupo. Cada um desses grupos de estudantes investigados estava matriculado em um componente curricular do curso (disciplina), por isso, e na medida do possível, escolhemos os EPs condizentes com os conteúdos de cada componente, o que notadamente aumentou a variabilidade de conteúdos abordados, enriquecendo dessa forma as possíveis discussões emergidas dos resultados do estudo.

No estudo piloto o texto orientador continha um item a ser preenchido pelos estudantes no qual era solicitado que anotassem suas hipóteses frente a situação-problema apresentada. Percebemos durante a aplicação que os estudantes ao “pensar” nas hipóteses de fato já estavam realizando os EPs. Isso foi mencionado oralmente pelos próprios estudantes participantes do estudo piloto. Tal percepção levou a que esse item (hipóteses) fosse retirado do material (texto orientador) apresentado aos estudantes no estudo definitivo.

Outra reformulação importante realizada para o segundo estudo está relacionada com a metodologia de análise dos dados. No estudo piloto, restringimos nosso olhar a identificação dos conceitos, princípios e proposições emergentes das falas dos estudantes e dos materiais escritos produzidos por eles. Para o estudo definitivo, além de identificarmos tais ideias presentes no material produzido pelos estudantes, procedemos a organização delas de acordo com a hierarquia sugerida pela TAS. Nesse caso dispomos os significados em tabelas de acordo com o grau de subordinação, identificando a aprendizagem como subordinada, superordenada ou combinatória. Além disso, buscamos identificar se, e quando, foi favorecida a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Essa modificação na parte metodológica, principalmente em termos da análise dos dados, gerou significativas modificações no segundo capítulo que descreve as bases metodológicas da investigação. Essas modificações foram necessárias para que o capítulo 2 ficasse alinhado com as reformulações sugeridas pela banca de qualificação, somadas com as constatações evidenciadas por meio do estudo piloto.

---

<sup>17</sup> O termo “nível” é designação dada pela instituição para o semestre no qual o componente curricular e, conseqüentemente, a população do estudo se localiza.

## 6.2 Contexto e indivíduos do estudo

Munidos da primeira percepção acerca da investigação, via estudo piloto, realizamos as reformulações pertinentes na proposta desenvolvendo-a novamente no contexto da sala de aula no segundo semestre do ano de 2019. A aplicação foi realizada no curso de Física e com duas turmas localizadas em diferentes níveis do curso – nível VI e VIII, como já mencionado. Para nos referirmos a essas turmas utilizaremos as denominações: Grupo 1 (G1) para o nível VI e Grupo 2 (G2) para o nível VIII. O Grupo G1 estava integralizado por seis estudantes, e o grupo G2 por 4 estudantes, sendo que todos concordaram em participar do estudo, assinando o TCLE (ANEXO C). Os acadêmicos de cada grupo foram identificados pela utilização da letra “A” acompanhada da letra “G” identificando o grupo e seguido do respectivo número (p.e. A1G1 quando nos referimos ao acadêmico A1 relativo ao grupo 1).

O grupo 1 foi constituído por seis estudantes do componente curricular “Eletromagnetismo II”, sendo três do sexo masculino e três do sexo feminino. A possibilidade de realizar EPs históricos relacionados aos tópicos de eletromagnetismo e seus limites é que culminou na escolha desse grupo. Por exemplo, um dos EPs selecionados foi o da “perseguição de um raio luminoso”, que explora uma aparente incompatibilidade entre a Teoria Eletromagnética e o Princípio da Relatividade Galileano.

O grupo 2 foi constituído por quatro estudantes do componente curricular “Física Moderna II”, sendo três do sexo masculino e um do sexo feminino. O conteúdo programático da disciplina inicia com uma linha histórica sobre o entendimento da matéria, desde a antiguidade até o Modelo Atômico de Bohr, finalizando com estudos relacionados à Mecânica Quântica. A escolha por esse grupo reside no fato de que, como mencionado no capítulo 3, o período histórico onde se desenvolveu a Física Moderna foi um palco bastante fértil em termos da utilização dos EPs, assim, julgamos importante que os EPs históricos dessa época fossem abordados no respectivo componente curricular.

Com cada um dos grupos o estudo foi realizado em três momentos (três aulas de 4 períodos de 50 minutos cada), nos quais foram recolhidas as produções escritas dos acadêmicos durante as atividades, bem como registrado por meio de videografações as ações e diálogos entre os envolvidos nas atividades (pesquisador e acadêmicos). As falas utilizadas neste texto, passaram por um processo de correção de linguagem como forma de deixar a leitura mais dinâmica, evitando os vícios e possíveis erros de linguagem. Além disso, o professor das duas

turmas selecionadas para o estudo definitivo foi o próprio pesquisador, a exemplo do ocorrido no estudo piloto.

### **6.3 Organização didática das atividades**

Definido o contexto e a população do estudo dessa nova etapa, partimos para a descrição da estruturação didática das atividades e a forma como os encontros foram organizados, no que diz respeito as atividades realizadas. Para tanto, consideramos as especificidades da TAS e dos EPs, organizando os encontros de forma a envolver um teste inicial e duas situações-problema correspondes a dois EPs para cada grupo.

O principal objetivo do teste inicial foi a busca por evidências referentes aos conhecimentos prévios apresentados pelos indivíduos participantes da pesquisa, essencialmente em relação à temática abordada pelos EPs. Destacamos que a estratégia e os resultados dos testes iniciais são descritos individualmente para cada grupo ao longo desse capítulo. O objetivo, frente aos resultados do teste inicial, esteve em identificar possíveis conhecimentos subsunçores, para então organizar o material a ser utilizado nos episódios de ensino contendo os EPs.

Nesse sentido, partimos do pressuposto da importância de que o material a ser utilizado deve ser potencialmente significativo, ou seja, necessita poder se relacionar com os conhecimentos prévios dos estudantes de forma substancial e não arbitrária – o que também estava em avaliação nesse estudo. Assim, não foi necessária a utilização de organizadores prévios durante as atividades, porém, o material instrucional, da mesma maneira, foi cuidadosamente organizado para que pudesse estar relacionado com os conhecimentos prévios dos estudantes.

Partindo desses pressupostos, procedemos com a seleção dos dois episódios projetados para cada um dos grupos, os quais iniciaram com a apresentação de um texto orientador elaborado de forma que pudesse ser relacionável com os conhecimentos prévios dos estudantes. Esse texto foi organizado na forma de situação-problema, a exemplo do realizado no estudo piloto.

Em cada um dos dois episódios, foi apresentado inicialmente a proposta, discutindo brevemente a origem e o objetivo do EP a ser desenvolvido; na sequência, foram entregues os textos orientadores para os estudantes trabalharem. Ao longo da atividade, sempre que necessário, foram feitas inferências por parte do pesquisador. Ao término da atividade foi realizada uma discussão coletiva onde foi permitido que cada um dos estudantes expusesse seus



resultados e métodos a fim de evidenciar e compartilhar com o grupo maior sua linha de raciocínio.

Destacamos que durante a realização das atividades envolvendo os EPs os estudantes trabalharam de forma que era permitido que discutissem entre si. Mesmo que a realização de cada EP tenha sido individual, as disposições das mesas do laboratório da Universidade favoreceram o debate entre os estudantes, sendo que em média eles trabalhavam de dois a quatro estudantes por mesa, formando dessa maneira grupos de trabalho em que os estudantes poderiam debater. Durante a realização das atividades, além dos estudantes debaterem entre si era permitido que estes questionassem o professor/pesquisador. Por meio da posterior análise dessas interações, somadas aos dados obtidos por meio dos materiais escritos produzidos pelos estudantes foi possível fazer inferências sobre possíveis evoluções e refinamentos nos conhecimentos construídos pelos estudantes. Essas inferências foram possíveis principalmente ao se comparar os dados obtidos por meio da análise das construções dos estudantes durante a realização dos EPs com aqueles evidenciados no teste inicial.

No estudo definitivo, as atividades envolvendo os EPs não foram dispostas em encontros sequenciados. Pelo fato de tratar-se da inserção dos experimentos em disciplinas específicas (no caso - Eletromagnetismo II e Física Moderna II) estes foram introduzidos à medida que se avançava com o conteúdo teórico de cada disciplina, sendo que em alguns casos houve um intervalo de mais de um mês entre a aplicação do primeiro e o segundo EP. Partindo dessas considerações apresentamos nos próximos itens os resultados obtidos no estudo definitivo separadamente para cada grupo.

#### **6.4 Resultados obtidos no estudo – Grupo 1**

Nessa seção são descritos e analisados os resultados do estudo desenvolvido com o grupo 1, de modo a apresentar a descrição das atividades e os resultados obtidos.

##### *6.4.1 Experimentos de Pensamento selecionados para o estudo*

O componente curricular “Eletromagnetismo II”, na matriz curricular do curso *locus* de desenvolvimento do estudo, se encontra no nível VI<sup>18</sup>, sendo que nos próximos níveis do curso os estudantes irão cursar duas disciplinas de Física Moderna, iniciando por temáticas

---

<sup>18</sup> Essa disposição refere-se ao currículo 5390 do curso de Física-L da Universidade de Passo Fundo, RS.

relacionadas a Teoria da Relatividade Restrita e Geral. Nesse sentido, selecionamos EPs que tratam de temáticas introdutórias a essas teorias, mas que em certa medida envolvam conceitos de Eletromagnetismo. A realização dos EPs, distribuídos em dois encontros, envolveu conceitos físicos próximos e, portanto, que possibilitam analisar os indícios de aprendizagem significativa considerando a perspectiva da aplicação em novos contextos, assim como o princípio de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, elementos relacionados a TAS e discutidos no capítulo anterior.

O primeiro EP selecionado traz à tona uma dificuldade que emergiu no meio científico no final do século XIX e início do século XX. Trata-se da aplicação do princípio da relatividade galileano às equações de Maxwell. O experimento utilizado para ilustrar esse problema é atualmente conhecido com o de “perseguição de uma onda de luz”. Os detalhes desse EP foram discutidos no item 3.2.2 do capítulo 3, e nos restringiremos nesse momento a apresentar a forma didática como ele foi aplicado neste estudo. Destacamos apenas que este EP tem como objetivo principal levantar um problema de incompatibilidade em teorias vigentes da época (à saber a mecânica clássica e o eletromagnetismo), e não necessariamente trazer uma nova, o que Brown (1991) classifica como um EP destrutivo. Nesse sentido, nosso objetivo didático está definido da mesma forma e a ideia é que os estudantes consigam levar a Teoria Eletromagnética a esse limite histórico percebendo essa aparente incompatibilidade. No Quadro 8 apresentamos o texto orientador entregue para os estudantes realizarem o EP.

Quadro 8 - Texto de apoio para a realização do EP1.

**EP 1: Perseguição de uma onda de luz**

1 Apresentação da atividade

Segundo as leis de Maxwell, uma onda eletromagnética é constituída por campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo e no espaço. As equações de Maxwell também preveem que a luz, no vácuo, possui uma velocidade de aproximadamente 300.000 km/s ou em unidades do sistema internacional  $3 \times 10^8$  m/s. Esse valor coincide de forma bastante precisa com medições experimentais realizadas antes e depois da formulação dessas leis.

Na época de Maxwell a grande maioria dos cientistas, defensores da teoria ondulatória da luz, aceitavam a existência de uma substância denominada “Éter”. Tal substância estaria presente em todas as partes do Universo, permeando a matéria e o espaço “vazio”. O éter seria o meio onde a luz se propagaria, assim como, a matéria é o meio em que uma onda mecânica se propaga. Nesse sentido, Maxwell desenvolveu as suas equações a partir de um referencial em repouso em relação ao éter. Na época não era claro o que deveria ocorrer quando se mudasse de referencial, ou seja, para outro em movimento em relação ao éter. Se o eletromagnetismo obedecesse ao princípio da relatividade, as suas equações deveriam ser igualmente válidas para o segundo referencial. Não é certo até que ponto Maxwell pensava que o eletromagnetismo deveria obedecer integralmente ao princípio da relatividade, no entanto, ele publicou um trabalho em 1877, onde deu bastante ênfase ao assunto.

Quando se tenta aplicar o princípio da relatividade galileano às leis de Maxwell, surgem inicialmente algumas dificuldades. Essas dificuldades, tem como resultado o início da construção de novas ideias acerca da eletrodinâmica dos corpos em movimento, que, por fim, desencadeia na Teoria da Relatividade Restrita (TRR). Não é o objetivo desta atividade explorar como ocorreu essa construção, e sim, o papel de um experimento de pensamento em particular. Papel este, que consiste justamente em levantar um problema existente entre o eletromagnetismo e a mecânica clássica. Trata-se do experimento de perseguição de uma onda de luz.

## 2 Formulação do problema

Para facilitar a compreensão da questão começamos antes com um problema menos abstrato envolvendo corpos que se movem com velocidades baixas em relação à velocidade da luz, e onde o princípio da relatividade pode ser aplicado sem maiores dificuldades. Imaginemos um motociclista perseguindo um ônibus que se move em linha reta e com velocidade constante em relação ao leito de uma estrada, em um determinado instante ele se encontra lado a lado com o ônibus se movendo em relação ao mesmo com velocidade igual à do ônibus, em módulo, direção e sentido. Nesse caso o motociclista observa o ônibus em repouso em relação a ele, já para um observador em repouso no leito da estrada ambos se encontram em movimento. Esta afirmação está de acordo com o princípio da relatividade de Galileu e pode ser observada facilmente em situações do cotidiano.

Agora vamos aplicar a mesma linha de raciocínio para a teoria eletromagnética de propagação da luz. Imaginemos uma onda de luz se propagando no vácuo, que segundo a teoria de Maxwell se propaga no mesmo com velocidade igual a  $c$  (sendo que o valor de  $c$  no vácuo é de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s). Agora imagine que você desenvolve um poder extraordinário de correr muito depressa e decide perseguir a onda de luz. De fato, seu objetivo é igualar a sua velocidade a velocidade da onda.

Questões:

- 1) Nesse experimento a velocidade da luz no vácuo ( $3 \times 10^8$  m/s) seria medida em relação a que referencial?
- 2) A partir do instante em que você igualar a sua velocidade em relação a onda de luz, qual seria a velocidade da onda em relação a você?
- 3) Considerando o feixe de luz sob o ponto de vista de uma onda eletromagnética, para o caso em que você se desloca com a mesma velocidade do que ele, em relação a você, como se comportariam os campos elétrico e magnético? Discuta se tais campos serão variáveis ou estáticos (especialmente e temporalmente) a partir deste referencial. Argumente sobre a possibilidade de existência de tais campos.
- 4) Discuta sobre a possibilidade física de acontecer o que foi proposto na atividade, ou seja, alguém se igualar a velocidade de propagação de uma onda luminosa no vácuo.

Fonte: Autor, 2019.

A ideia é que por meio desse EP os estudantes pudessem, além de compreender algumas das propriedades de uma onda eletromagnética segundo a teoria de Maxwell, também perceber os problemas que os cientistas enfrentaram no final do século XIX e início do século XX ao testar a validade das equações de Maxwell em diferentes referenciais. Esse entendimento pode auxiliar na compreensão da eletrodinâmica tal como estudada por meio da TRR. Destacamos que nenhum dos estudantes do grupo 1 conseguiu de fato resolver o problema (principalmente aquele posto pela questão 3 do texto orientador - quadro 8), no geral os participantes da pesquisa conseguiram evidenciar a aparente contradição entre a teoria eletromagnética e as leis clássicas do movimento, principalmente usando a lei de Faraday-Lenz. A solução para esse problema pode culminar em algumas formulações referentes a TRR, tópico trabalhado em uma disciplina subsequente do currículo da turma na qual foi aplicado o EP. Todavia, após a realização do EP, e devido principalmente aos questionamentos que surgiram por parte dos estudantes, foi apresentada por parte do professor/pesquisador uma solução para o problema utilizando as transformações de Lorentz.

O segundo EP selecionado e aplicado com G1 esteve voltado à formulação do princípio da equivalência referente a TRG. Por meio desse EP é possível estabelecer a equivalência entre

um sistema acelerado por uma força qualquer e um campo gravitacional. Em outras palavras é possível estabelecer a equivalência entre massa inercial e gravitacional. O EP conhecido como “O elevador de Einstein”, cuja descrição foi realizada no item 3.2.2 do capítulo 3, foi aplicado com a turma. Esse EP é classificado por Brown (1991), como construtivo direto em que o início se dá por um problema, porém, sem ter uma teoria necessariamente bem definida, ou seja, chega-se na teoria por meio do EP. Nesse sentido, buscamos que os estudantes percebam ao realizar o EP a equivalência entre massa inercial e gravitacional. O Quadro 9 apresenta o texto orientador entregue aos estudantes do G1.

Quadro 9 - Texto de apoio para a realização do EP2.

### **EP2: Elevador de Einstein**

#### **1 Apresentação da atividade**

A Teoria da Relatividade Geral (TRG) trata-se de uma construção, que entre outras contribuições, traz uma nova interpretação acerca do conceito de campo gravitacional. Na formulação da TRG um princípio fundamental merece especial atenção. Para formular tal princípio Einstein sugere o experimento de pensamento que ficou conhecido como “O Elevador de Einstein”. Para estabelecer melhor a situação fixamos dois sistemas de referência, S1, que se encontra em repouso em relação ao elevador, e S2 que se trata de um sistema de referência inercial o qual possui origem na parte externa do elevador. Imaginamos dois observadores em locais distintos, O1 se encontra no interior do elevador e O2 se encontra na parte externa do elevador e está em repouso em relação a S2. O observador O1, dentro do elevador, não tem nenhum contato visual com o meio externo, ou seja, para determinar onde ele se encontra e qual o seu estado de movimento ele conta apenas com a possibilidade de realizar experimentos de Física em seu interior. No início do experimento o observador O2 observa que em relação a seu sistema de referencia (S2) o elevador se encontra flutuando no espaço livre da ação de qualquer força, inclusive de efeitos gravitacionais.

Utilizando as informações fornecidas no item 1 e os questionamentos levantados no item 2 desenvolva o experimento de pensamento do “Elevador de Einstein” buscando solucionar os problemas levantados. Todo o andamento do experimento de pensamento deve ser relatado na folha em anexo, esse relato deve conter o maior número de informações possíveis, tais como, texto, desenhos, diagramas, gráficos, cálculos, etc.

#### **2 Formulação do problema**

##### 1ª Parte

- 1) Discuta quais são as conclusões tiradas por O2 para o estado de movimento do elevador.
- 2) O1, que se encontra dentro do elevador, chega a que conclusões sobre o estado de movimento e a localização do elevador? Quais experimentos ele pode realizar dentro do elevador para chegar a essas conclusões? E quais os resultados desses experimentos?

##### 2ª Parte

De repente, O2 percebe que uma criatura mítica, começa a puxar o elevador com uma corda e este passa a se mover com uma aceleração constante igual, em módulo, a aceleração gravitacional terrestre num determinado ponto. Destacamos que o observador O1, não possui nenhum contato visual com o meio externo, portanto, não tem conhecimento da existência da criatura mítica, e tampouco de onde o elevador se encontra, ou seja, ele somente pode tirar qualquer conclusão realizando experimentos dentro do elevador.

##### Questões:

- 1) Discuta quais são as conclusões tiradas por O2 para o estado de movimento do elevador e como ele pode chegar a essas conclusões.

2) O1, que se encontra dentro do elevador chega a que conclusões sobre o estado de movimento e a localização do elevador? Quais experimentos ele pode realizar dentro do elevador para chegar a essas conclusões? E quais os resultados desses experimentos?

### 3ª Parte

Agora imagine que o elevador é levado as proximidades da superfície terrestre, onde é colocado em repouso no respectivo campo gravitacional suspenso por um cabo de aço no último andar de um edifício muito alto, onde a aceleração é a mesma, em módulo, do que a da situação anterior (empregada pelo ser mítico). Destacamos novamente que apenas O2 sabe sobre o fato ocorrido (mudança de local do elevador), sendo que O1 somente pode tirar qualquer conclusão realizando experimentos dentro do elevador.

#### Questões:

1) Discuta quais são as conclusões tiradas por O2 para o estado de movimento do elevador e como ele pode chegar a essas conclusões.

2) O1, que se encontra dentro do elevador chega a que conclusões sobre o estado de movimento e a localização do elevador? Quais experimentos ele pode realizar dentro do elevador para chegar a essas conclusões? E quais os resultados desses experimentos?

3) O observador O1 poderia afirmar que se encontra em repouso na superfície terrestre e não se movimentando (de forma acelerada) no espaço, como na situação anterior? Justifique e argumente sobre a sua resposta.

### 4ª Parte

Agora imagine que o cabo que sustenta o elevador se rompa, fazendo com que o mesmo passe a se mover em queda livre. Despreze o efeito da resistência do ar ou qualquer outra ação externa que não seja de natureza gravitacional. Novamente apenas O2 observa o cabo se rompendo, sendo que O1 somente pode tirar qualquer conclusão realizando experimentos dentro do elevador.

#### Questões:

1) Discuta quais são as conclusões tiradas por O2 para o estado de movimento do elevador e como ele pode chegar a essas conclusões.

2) O1, que se encontra dentro do elevador chega a que conclusões sobre o estado de movimento e a localização do elevador? Quais experimentos ele pode realizar dentro do elevador para chegar a essas conclusões? E quais os resultados desses experimentos?

3) O observador O1 poderia afirmar que se encontra em queda livre nas proximidades da superfície terrestre e não flutuando no espaço, como indicado no início do experimento? Justifique e argumente sobre a sua resposta.

Fonte: Autor, 2019.

Definidos os EPs selecionados para cada encontro partimos para a descrição da sequência das atividades realizadas.

#### 6.4.2 Atividades realizadas nos encontros

O estudo foi realizado no segundo semestre de 2019 em três encontros, com intervalo de uma semana entre cada um deles. Utilizamos de uma câmera para gravar áudio e vídeo

durante a realização das atividades, a qual foi disposta de forma que pudesse capturar as reações dos estudantes, bem como as discussões coletivas durante as atividades.

Inicialmente - primeiro encontro, foi apresentada e discutida a proposta de atividades e as especificidades da pesquisa, nesse momento os estudantes assinaram o TCLE. Na sequência foi realizada, de forma expositiva, uma breve discussão sobre o entendimento acerca dos EPs trazendo à tona algumas das questões abordadas no capítulo 3 desta tese. Essa parte inicial teve a duração de dois períodos, restando outros dois para a aplicação do teste inicial destinado a identificação dos possíveis conhecimentos prévios dos estudantes.

No segundo encontro realizamos a atividade envolvendo o primeiro EP - “Perseguição de um raio de luz”. No terceiro encontro foi realizado o segundo EP - Elevador de Einstein. Ao término de cada uma das atividades, após a realização individual dos EPs, foi realizada uma discussão coletiva com o intuito de levantar mais elementos no que tange as linhas de raciocínio de cada estudante participante do estudo.

### *6.4.3 Resultados*

Buscamos nos dados da pesquisa evidenciar elementos que alinhassem os resultados com elementos relevantes da fundamentação teórica do estudo. Nesse sentido, recorreremos a elementos da TAS tanto na análise, organização, como na apresentação dos resultados. Começaremos apresentando os resultados do teste inicial, seguidos dos resultados dos dois episódios de ensino envolvendo os EPs.

#### *6.4.3.1 Teste inicial: buscando por possíveis subsunçores*

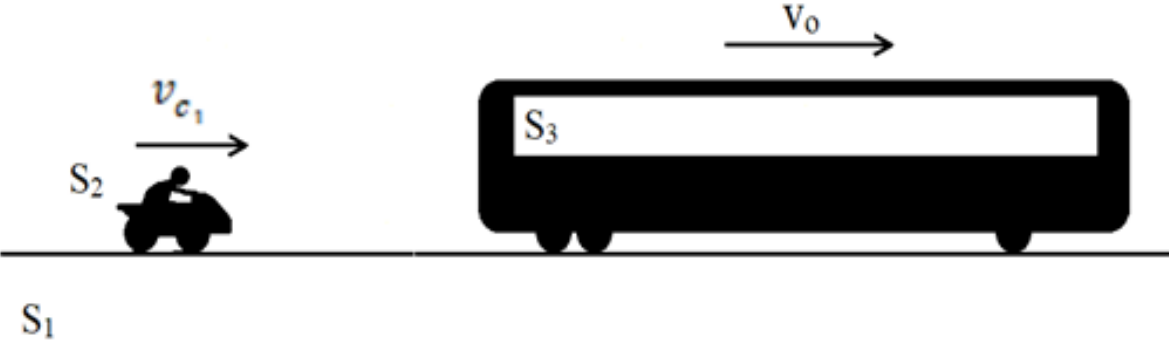
Partindo do pressuposto anunciado pela TAS de que o fator mais importante para a ocorrência da aprendizagem significativa é aquilo que o aprendiz já sabe, analisaremos inicialmente os resultados do teste inicial. Esse teste foi organizado na forma de questionário (APÊNDICE B), contendo cinco questões, duas abertas - dissertativas, uma fechada - objetiva, e duas na forma de situação-problema. Optamos por dispor os resultados da análise em tabelas de acordo com os significados identificados a partir das respostas dos estudantes. Em alguns casos foi necessária uma discussão aberta sobre as respostas dos estudantes sendo que o uso das tabelas se mostrou inviável. Nesse sentido, realizamos uma análise onde se revelou necessária a utilização de diversas estratégias de apresentação dos resultados. Essa diversidade de

estratégias foi utilizada com o intuito de enriquecer a apresentação dos resultados de forma qualitativa.

A questão número 1 tratava de uma situação-problema que tinha como objetivo identificar o conhecimento dos estudantes acerca do princípio da relatividade dos movimentos inerente a Física Clássica, contemplando também a ideia de adição de velocidades. O Quadro 10 apresenta a questão número 1.

Quadro 10 - Questão número 1 do teste inicial.

1) A figura mostra um motociclista perseguindo um ônibus. Fixam-se três sistemas de referencia, S1 está em repouso em relação a estrada, S2 em relação ao motociclista e S3 em relação ao ônibus. Responda as questões que seguem com base na condição em que tanto o motociclista como o ônibus se movem com velocidade constante, todavia a velocidade do motociclista  $v_{c1}$  é menor que a do ônibus  $v_0$ . (Considere o sentido positivo das velocidades como o que está indicado pelos vetores da figura).



a) Qual é o módulo da velocidade do ônibus quando medida pelo motociclista, e qual o seu sentido?  
 b) Repita a questão a) para um observador em repouso em relação ao ônibus que mede a velocidade do motociclista.  
 c) Repita a questão a) e b) para a condição em que tanto o motociclista como o ônibus se movem com velocidade constante, todavia a velocidade do motociclista  $v_{c1}$  é igual à do ônibus  $v_0$  quando ambas são medidas em relação a S1.

Fonte: Autor, 2019.

O Quadro 11, apresentado a seguir, reúne as respostas dadas pelos estudantes a essa questão.

Quadro 11 - Significados identificados na questão 1 do teste inicial.

Questão número 1			
	Letra (a)	Letra (b)	Letra (c)

<b>A1</b>	A velocidade do ônibus quando medida em relação a S2 permanecerá constante e positiva, porém com módulo menor do que quando medida em relação a S1.	Terá o mesmo módulo que na questão anterior, porém com sentido negativo.	Está tudo parado.
<b>A2</b>	O módulo é positivo, menor que V0 e maior que VC1, pois o ônibus continua se afastando sem nenhuma aceleração.	Percebesse que VC1 é menor que V0 e tem sentido em direção ao ônibus.	Sentidos iguais posições relativas iguais.
<b>A3</b>	O ônibus está em movimento, pois eles estão se afastando.	O sentido do movimento da moto será para a esquerda.	Será para a direita, pois todos estão em movimento.
<b>A4</b>	O módulo da velocidade do ônibus, em relação ao motociclista, é a sua própria velocidade subtraída da velocidade do motociclista e se afastando do mesmo.	Em relação ao ônibus, o motociclista se desloca para “trás” e o módulo de sua velocidade é negativo.	Então parados entre si.
<b>A5</b>	Será a diferença de velocidade entre S2 e S3, para a direita.	Será o mesmo módulo de a), mas para a esquerda.	Estarão em repouso um em relação ao outro.
<b>A6</b>	O módulo da velocidade será maior em sentido positivo.	O módulo da velocidade será menor em sentido negativo.	Módulo da velocidade constante com sentido positivo.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A questão número 2 é do tipo dissertativa, cujo objetivo estava em identificar qual a concepção dos estudantes sobre ondas eletromagnéticas. Para tanto, foi questionado: “Segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, qual é a definição de onda eletromagnética?”. As respostas dos estudantes estão apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Significados identificados na questão 2 do teste inicial.

<b>Questão número 2: Segundo a teoria eletromagnética de Maxwell, qual é a definição de onda eletromagnética?</b>	
<b>A1</b>	Um campo elétrico variável gera um campo magnético e vice-versa. Uma onda eletromagnética se propaga por meio das oscilações perpendiculares de tais campos.
<b>A2</b>	Movimentação energética capaz de se propagar no vácuo e interagir com a matéria e com outras flutuações de mesma frequência. Pode “perder” ou “ganhar” energia durante uma interação.
<b>A3</b>	Um tipo de onda que pode se propagar inclusive no vácuo.
<b>A4</b>	O campo eletromagnético é formado por oscilações elétricas que geram campos magnéticos.
<b>A5</b>	É energia oscilando com uma certa frequência.
<b>A6</b>	É uma onda magnética associada ao fluxo de corrente e se propaga de forma intrínseca a esta.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Com a questão número 3 buscamos evidenciar se os estudantes tinham conhecimento sobre o que diferencia um referencial inercial de outro não inercial. Essa questão se revelou pertinente em virtude dos EPs a serem realizados envolverem tais definições. Nesse sentido, a questão 3, de caráter dissertativo, envolvia o seguinte questionamento: “O que diferencia um referencial inercial de outro não inercial?”. Por meio da análise das respostas dadas pelos



estudantes a essa questão foi possível elaborar o Quadro 13, onde se encontram dispostos os significados identificados.

Quadro 13 - Significados identificados na questão 3 do teste inicial.

<b>Questão número 3:</b> O que diferencia um referencial inercial de outro não inercial?	
<b>A1</b>	Referencial inercial é aquele desprovido de aceleração, ou seja, que possui força resultante nula.
<b>A2</b>	É quando não muda a direção e sentido do movimento.
<b>A3</b>	Aquele que pode ser utilizado como referência para definir o movimento dos corpos.
<b>A4</b>	Que não possui aceleração.
<b>A5</b>	É aquele que o momento linear permanece constante.
<b>A6</b>	Quando a força resultante é zero.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A questão número 4 é do tipo objetiva, onde os participantes da pesquisa precisavam assinalar apenas umas das alternativas, no caso a que eles julgavam ser a correta. O principal objetivo foi evidenciar se os estudantes reconheciam que para situações relativísticas a soma das velocidades não pode ser realizada da mesma forma do que para baixas velocidades relativas (baixas quando comparadas a da luz).

O Quadro 14 apresenta os resultados da análise das respostas dos estudantes para a questão número 4.

Quadro 14 - Significados identificados na questão 4 do teste inicial.

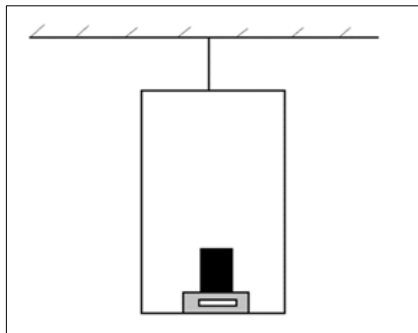
<b>Questão número 4:</b> Analise a situação hipotética a seguir: suponha que você está viajando no vácuo dentro de uma nave muito veloz na mesma direção, porém em sentido contrário à de um feixe de luz. A velocidade da nave em relação a Terra é igual a metade da velocidade da luz ( $c$ ), e a velocidade do feixe de luz em relação a Terra é igual a $c$ . A velocidade do feixe de luz em relação a nave é igual a:				
	<b>a) <math>0,5c</math></b>	<b>b) <math>1,5c</math></b>	<b>c) <math>c</math></b>	<b>d) <math>2c</math></b>
<b>A1</b>			X	
<b>A2</b>		X		
<b>A3</b>		X		
<b>A4</b>		X		
<b>A5</b>	X			
<b>A6</b>		X		
<b>Total</b>	1	4	1	0

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A questão número 5 é do tipo situação-problema, onde os estudantes precisariam respondê-las com explicações. O objetivo foi evidenciar se os estudantes tinham conhecimento sobre o comportamento de experimentos físicos em sistemas sujeitos a campos gravitacionais em diferentes estados de movimento. Tal conhecimento era necessário para que realizar o experimento do “Elevador de Einstein” e formular de forma satisfatória o princípio da equivalência. A questão número 5 se encontra disposta no Quadro 15.

Quadro 15 - Questão número 5.

5) A figura abaixo mostra um elevador no vácuo suspenso por uma corda em um campo gravitacional uniforme: Inicialmente o elevador está em repouso e a balança indica o valor do peso  $P$  do corpo. Se a corda for cortada o elevador começa a se mover em queda livre com aceleração igual à aceleração da gravidade no local. Para essa segunda situação o valor do peso medido pela balança será nulo, maior, menor ou igual ao da situação anterior? Explique.



Fonte: Autor, 2019.

Como a questão é constituída de uma resposta direta (nulo, maior, menor ou igual) seguida de uma justificativa, separamos os dados em duas partes, uma contendo a resposta e a outra a explicação. O Quadro 16, na parte A, contém os dados referentes a resposta direta dada pelos acadêmicos e na parte B contém os significados evidenciados a partir das justificativas dadas pelos acadêmicos.

Quadro 16 - Respostas à questão 5 do teste inicial.

Parte A					Parte B	
Questão número 5					Questão número 5	
	Nulo	Maior	Menor	Igual		
A1	X				A1	Será nulo, pois em queda livre, tanto a balança como a caixa caem com a mesma aceleração, sendo que não existe pressão nenhuma sobre a plataforma da balança exercida pela caixa.
A2			X		A2	O peso será menor caso haja ar dentro do elevador, pois os corpos vão acelerar de maneira diferente. Se todo o sistema estiver no vácuo eles vão acelerar da mesma forma, sendo assim o peso será igual.
A3				X	A3	Será igual, pois um corpo em MRU tem o mesmo estado do que em repouso e como o elevador está no vácuo, sem arrasto do ar, ele está em MRU.
A4			X		A4	O valor medido para o peso irá diminuir, pois devido a inércia o corpo tende a permanecer em seu estado de movimento inercial.
A5	X				A5	Devido a inercia a caixa perderá o contato com a balança, fazendo a medida de seu peso ser nula.
A6			X		A6	Quando o elevador estiver caindo a caixa é “empurrada” para cima fazendo seu peso diminuir.
Total	2	0	3	1		

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Com base no teste inicial adequamos os EPs escolhidos para cada encontro. A ideia é que seja possível por meio da análise dos dados produzidos durante as atividades de ensino fazer inferências acerca de indícios de aprendizagem significativa. Destacamos que por mais que se observaram algumas incompletudes nos conhecimentos prévios dos estudantes, entendemos que estes possuíam os conhecimentos minimamente necessários para a realização dos EPs selecionados para o estudo. Muitas das condições iniciais colocadas oralmente no momento da apresentação dos EPs continham informações e discussões que levavam em conta as lacunas conceituais evidenciadas por meio do teste inicial, porém, interpretamos essas lacunas como muito pontuais, e descartamos a necessidade de se utilizar um organizador prévio.

#### 6.4.3.2 Análise dos episódios de ensino

Nessa seção analisamos individualmente para cada participante do grupo G1 a construção dos significados durante a realização dos EPs. Inicialmente apresentaremos os dados correspondentes aos materiais escritos produzidos pelos estudantes, na sequência são apresentados os dados obtidos a partir das videogravações. Por fim, apresentamos a discussão dos resultados buscando fazer inferências e verificar inter-relações entre os resultados obtidos e os pressupostos teóricos do estudo.

##### 6.4.3.2.1 Dados referentes aos materiais escritos produzidos pelos estudantes

Na sequência apresentamos os resultados obtidos por meio da análise dos materiais escritos produzidos pelos estudantes durante a realização dos EPs. Optamos por apresentar os resultados dos dois EPs para cada acadêmico participante do estudo, partindo do objetivo de evidenciar os significados produzidos individualmente por cada estudante ao longo do estudo como um todo. Inicialmente apresentamos os dados obtidos por meio da análise dos materiais produzidos pelos acadêmicos e na sequência realizamos a hierarquização dos significados em consonância com o proposto pela TAS.

A hierarquização dos significados foi realizada de acordo com o grau de subordinação dos conhecimentos envolvidos em cada EP. No que diz respeito ao EP1 aplicado com o grupo 1 (EP da “perseguição de uma onda de luz”) consideramos como subordinados aqueles conhecimentos relacionados às leis do movimento correspondentes a Física Clássica e as equações de Maxwell. Entendemos que tais conhecimentos são mais gerais e podem servir como ancoradouro para os conhecimentos mais específicos relacionados a realização do EP,

sendo que é a partir deles que se pode chegar a aparente incompatibilidade sugerida pelo EP1. A aprendizagem superordenada ocorre quando um conhecimento mais geral a ser aprendido se relaciona com conhecimentos mais específicos existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Interpretamos como aprendizagem superordenada aqueles significados relacionados as dificuldades relacionadas a se atingir a velocidade da luz. Ou seja, o estudante pode relacionar a esse conhecimento alguns significados mais gerais relacionados tanto a Física Clássica como a Física Moderna, como por exemplo, a ideia da quantidade de energia necessária para realizar tal feito, ou até mesmo conceitos relacionados a TRR. Como aprendizagem combinatória classificamos aqueles significados que se relacionaram a estrutura cognitiva de forma mais geral, em nosso caso relacionando conceitos associados as Leis de Maxwell e o princípio da relatividade. Tomamos para essa categorização as relações estabelecidas entre vários conhecimentos relacionados a essas duas teorias e o novo significado a ser aprendido.

Para o EP2 classificamos como subordinados os significados produzidos pelos estudantes que pudessem de alguma forma serem relacionados a ideia de equivalência. Entendemos que para esse EP (elevador de Einstein) a ideia de equivalência entre grandezas e sistemas seja um significado mais geral que pode funcionar como subsunçor para os conhecimentos mais específicos a serem aprendidos, o que Ausubel (1983) chama de aprendizagem subordinada. Para a aprendizagem superordenada classificamos os significados relacionados as diferenças entre referenciais inerciais e não inerciais. Ou seja, em consonância com o referencial teórico, classificamos nessa categoria os significados mais gerais associados a essas diferenças e que pudessem ser relacionados com conhecimentos específicos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, como por exemplo, associados ao significado de aceleração, força, força fictícia de inércia, entre outros. Os significados que se relacionavam de forma mais geral com a estrutura cognitiva dos estudantes foram classificados como combinatórios. Esta classificação contemplou significados que se relacionavam as concepções de referencial inercial, aceleração e gravitação.

Destacamos que no processo de hierarquização (quadros apresentados individualmente para cada estudante) foram dispostos tanto significados coerentes com as leis da Física vigentes assim como aqueles equivocados. Essa escolha parte da alegação de que aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem correta Moreira (1999). Destacamos também que foram realizadas inferências por parte do professor/pesquisador sempre que necessário e possível, quando identificadas essas inconsistências na abordagem dos estudantes.

### **EP1 por A1G1**

A1G1 inicia ponderando que não existe nenhum referencial privilegiado no Universo, portanto a velocidade da luz pode ser medida em relação a qualquer referencial, desde que seja inercial. Ele também afirma que em relação a esse referencial escolhido arbitrariamente os campos elétrico e magnético seriam variáveis tanto espacialmente como temporalmente.

Ao imaginar o corredor atingindo a mesma velocidade do feixe luminoso, A1G1 afirma que este chegaria a conclusões que levantam problemas no que diz respeito às leis de Maxwell, principalmente a lei de Faraday-Lenz. Nas suas palavras: “A lei de Faraday-Lenz diz que é necessário a variação do fluxo magnético para induzir um campo elétrico, porém para o referencial em repouso em relação ao feixe luminoso essa variação seria nula, logo não existiria onda”. Essa afirmação levanta uma aparente incompatibilidade entre as leis do movimento da Física Clássica e o eletromagnetismo.

A1G1 levanta ainda argumentos sobre a possibilidade física de um observador igualar a sua velocidade a da luz. A1G1 relaciona essa dificuldade inicialmente com a massa do corpo, segundo ele “por mais que se aumente a força aplicada, um corpo com massa diferente de zero nunca conseguiria atingir a velocidade da luz”. Na sequência A1G1 afirma que se o observador se igualasse a velocidade do feixe o tempo para ele pararia, ou seja, em suas palavras “ficaria tudo congelado”.

## **EP2 por A1G1**

Para o estabelecimento da situação hipotética a ser elaborada por meio do EP, A1G1 estabelece várias proposições de colocação de problema, todas elas pertinentes e necessárias para a realização da atividade. A1G1 pondera que o sistema de referência S1 pode ter sua origem em qualquer localização espacial, desde que se encontre em repouso em relação ao elevador. A1G1 também afirma que como O2 inicialmente precisa estar em repouso em relação a S2, e como S2 é um sistema de referência inercial, então O2 não consegue afirmar se está em repouso ou se movendo com velocidade constante em relação a um terceiro sistema de referência. Ainda no que diz respeito as proposições de colocação de problema A1G1 faz as seguintes considerações: “O problema diz que o elevador está livre de qualquer interação energética em relação a S2, ou seja, S2, O2 e o elevador fazem parte do mesmo referencial (pelo menos no início do experimento). Constata-se então que o elevador não possui aceleração”.

Por meio das proposições de colocação de problema apresentadas por A1G1, percebemos um cuidado que este teve no momento de formular a situação hipotética. Esse cuidado no momento de considerar as condições iniciais pode acarretar em uma construção mais rica do EP, levando a conclusões mais consistentes acerca de seu resultado.

As problematizações sugeridas para o EP foram divididas em quatro partes, possibilitando que analisemos as construções de A1G1 para cada uma das etapas. No que diz respeito a primeira parte, A1G1 pondera que as conclusões iniciais de O2 acerca dos eventos ocorridos são de que ele não consegue fazer muitas afirmações sobre o estado de movimento do elevador a não ser que passasse a ter uma aceleração. A1G1 afirma que a única consideração que O2 pode fazer está relacionada a condição inercial, ou seja, segundo ele, O2 poderia afirmar que o elevador poderia estar em repouso ou se movendo com velocidade constante.

Sobre as observações de O1 acerca do estado de movimento e da localização do elevador, A1G1 avalia que este também não poderia diferenciar se está em movimento com velocidade constante ou em repouso. Segundo A1G1:

Chega à conclusão de que está parado ou em MRU (ambos sistemas inerciais), pois todo experimento possível, como oscilar um pêndulo, girar um peão ou soltar um objeto, levarão a constatação de um sistema em repouso ou MRU, ou seja, impossível de diferenciar um estado do outro. Mas não faz diferença, pois o peão gira constantemente sem turbulência, o pêndulo não oscila e o objeto quando abandonado fica flutuando em repouso em relação ao elevador.

Na segunda parte do experimento A1G1 deveria resolver os mesmos problemas que na primeira parte, todavia, agora O2 percebe que uma criatura mítica começa a puxar o elevador com uma corda e este passa a se mover com uma aceleração constante, igual, em módulo, à aceleração gravitacional terrestre num determinado ponto. A partir dessa aceleração impressa no elevador, A1G1 tece suas considerações sobre os eventos, tais como definidos por O2 e O1.

Segundo A1G1, O2 se encontra em repouso em relação a um referencial inercial (S2), nesse sentido ele perceberá que a força aplicada pela criatura mítica irá gerar uma aceleração no elevador. O2 poderá medir essa aceleração pelo fato do elevador passar a varrer distâncias diferentes em tempos iguais. De acordo com A1G1, O1 iria sentir um “puxão” devido a aceleração empregada no elevador. Um experimento que poderia ser feito segundo ele, seria abandonar um objeto dentro do elevador, observando que este se deslocaria de forma acelerada no sentido contrário ao do movimento do elevador.

Na terceira parte do experimento, o elevador é levado para as proximidades do planeta Terra, onde é colocado em repouso no respectivo campo gravitacional e suspenso por um cabo de aço no último andar de um edifício muito alto, onde a aceleração é a mesma, em módulo, do

que a da situação anterior. Nessa situação A1G1 afirma que O1, não conseguirá distinguir seu estado daquele da situação anterior. Nas palavras de A1G1: “Ele não poderia diferenciar, pois o resultado dos experimentos é exatamente o mesmo, uma vez que a aceleração gravitacional é análoga à aquela empregada pelo ser mítico”.

A quarta parte sugere que se imagine o cabo que sustenta o elevador rompendo, e devido a isso o elevador passa a se mover em um movimento de queda livre. Para essa situação A1G1 afirma que O1 perceberia tudo como se estivesse em um ambiente de gravidade zero. Ele ainda sugere que se repita o experimento de abandonar um objeto dentro do elevador, observando que este ficaria flutuando. No que diz respeito a possibilidade de diferenciar a situação inicial (parte 1) dessa situação (parte 4), A1G1 afirma ser impossível, visto que tudo dentro do elevador se comporta da mesma forma nos dois casos.

### Hierarquização dos significados construídos por A1G1

O Quadro 17 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A1G1 durante a realização dos EPs.

Quadro 17 - Hierarquização dos significados construídos por A1G1.

A1G1					
EPI	Subordinadas	Leis do Movimento (Física Clássica) & Equações de Maxwell.	Um referencial em movimento (MRU) em relação ao feixe de luz e outro em repouso são ambos inercias, logo as leis da Física deveriam ser as mesmas.	A lei de Faraday diz que é necessário a variação do fluxo magnético para induzir um campo elétrico.	O referencial em repouso em relação ao feixe luminoso põe em contradição as leis de Maxwell com o princípio da relatividade de Galileu.
			Qualquer referencial inercial poderia ser tomado para medir a velocidade da luz, pois não existe nenhum referencial privilegiado.		
	Superordenados	Dificuldade em atingir a velocidade da luz.	Por mais que se aumente a força aplicada, um corpo com massa diferente de zero nunca conseguiria atingir a velocidade da luz.		
			Se um observador iguala a sua velocidade a de um feixe luminoso o tempo para ele pararia, ficaria tudo “congelado”.		
Combinatórios	Leis de Maxwell, Princípio da Relatividade	Segundo o eletromagnetismo a luz é uma onda eletromagnética onde os campos precisam ter variação temporal, porém ao aplicarmos as ideias da Física Clássica mudando de referencial isso parece não funcionar.			
		Com base na Física Clássica em dois referenciais inerciais tudo se comporta da mesma forma, porém a luz nesse experimento parece não obedecer esse princípio.			
E <sub>D2</sub>	Subordinadas	Equivalência.	No início do experimento, o	É impossível fazer uma distinção entre as situações de queda livre em	

			elevador, O1 e O2 estão no mesmo sistema de referência inercial.	um campo gravitacional ou repouso e MRU em gravidade zero.
			O1 não poderia diferenciar se está em repouso no campo gravitacional ou acelerado pelo ser mítico.	
	Superordenados	Diferença entre um referencial inercial e não inercial.	O2 inicialmente precisa estar em repouso em relação a S2, e como S2 é um sistema de referência inercial, então O2 não consegue afirmar se está em repouso ou se movendo com velocidade constante em relação a um terceiro sistema de referência.	
			Com o elevador acelerado se for abandonado um objeto em seu interior, este irá se deslocar de forma acelerada no sentido contrário ao da aceleração do elevador.	
Combinatórios	Referencial inercial, aceleração, gravitação.	Qualquer experimento realizado dentro do elevador na primeira situação fornece o mesmo resultado do que na quarta situação.	Qualquer experimento realizado com o elevador em repouso na superfície da Terra fornece o mesmo resultado do que para o elevador sendo acelerado pela criatura mítica.	
		Referencial inercial é aquele que não possui aceleração.		

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No que diz respeito ao EP1 percebemos que os significados relacionados ao princípio da relatividade e as equações de Maxwell se tornaram mais diferenciados. A ocorrência da diferenciação progressiva pode ser observada quando, por exemplo, A1G1 afirma que as leis da Física deveriam ser as mesmas nos dois referências (em movimento e em repouso em relação ao feixe luminoso respectivamente), porém, destacamos que, de acordo com suas palavras “A lei de Faraday-Lenz diz que é necessário a variação do fluxo magnético para induzir um campo elétrico, porém para o referencial em repouso em relação ao feixe luminoso essa variação seria nula, logo não existiria onda”. Notamos, portanto, nessa afirmação que A1G1 utilizou explicitamente a Lei de Faraday-Lenz e o princípio da relatividade de Galileu, conhecimentos estes que também foram evidenciados por meio do teste inicial. Em outras palavras a problematização levantada pelo EP1 promoveu a mobilização dos conhecimentos prévios de A1G1 tornando-os mais diferenciados e inclusivos e levando a situação ao aparente limite de validade destes.

Ao resolver os problemas propostos pelo EP1, A1G1 também relaciona os conceitos de força, massa e aceleração, afirmando a tese de que nenhum corpo com massa diferente de zero poderia atingir a velocidade da luz, assim como a ideia de que se a velocidade da luz fosse atingida o tempo pararia. É possível inferir que A1G1, ao levar a situação ao limite relativístico, conseguiu identificar conceitos e ideias relacionadas e estas se mostraram passíveis de tomar novos significados devido a essa reconciliação. A esse processo Ausubel chama de reconciliação integrativa. Dentre esses significados, a proposição de que o tempo pararia ao se



atingir a velocidade da luz, pareceu ser a única um pouco diferenciada nas explicações de A1G1. Ou seja, indica-se que ele não utilizou nenhum argumento para sustentar essa afirmação, apenas a fez.

Para o EP2, no que diz respeito a aprendizagem subordinada, percebemos que o significado de equivalência se mostrou bastante diferenciado nas considerações de A1G1. É importante observar que ele destaca corretamente as situações que são equivalentes e as que não são. Cita inclusive alguns experimentos que poderiam ser utilizados para demonstrar tal equivalência.

Por meio da análise das produções escritas de A1G1 é possível inferir a utilização de vários conceitos e também uma construção representacional da situação hipotética bastante rica em elementos, como a possibilidade de visualização dos resultados de experimentos mecânicos dentro do elevador. Toda a construção realizada por A1G1 o conduz a uma interpretação bastante rica em elementos que o auxiliam no entendimento dos fenômenos relacionados aos EPs.

### **EP1 por A2G1**

Sobre qual seria o referencial utilizado para medir a velocidade da luz, A2G1 faz duas afirmações, ambas consistentes, todavia, baseadas em pressupostos distintos. A primeira possibilidade citada por A2G1 é baseada na existência do éter, segundo ele, se assumirmos a existência de tal substância a velocidade da luz deveria ser medida em relação a ela. Porém, de acordo com sua construção, ele afirma que é mais coerente assumir que a velocidade da luz pode ser medida em relação a qualquer referencial inercial, sem dar preferência a nenhum específico.

Sobre como se configuram os campos elétrico e magnético, A2G1 afirma que para o referencial em movimento em relação ao feixe luminoso os campos são variáveis espacialmente e temporalmente, porém, para o referencial em repouso em relação ao feixe eles são estáticos. Segundo os argumentos do estudante, esse resultado não está de acordo com o eletromagnetismo e com o princípio da relatividade, visto que o segundo impõe que as leis da Física devem ser as mesmas para qualquer referencial inercial.

Para a possibilidade de um observador se igualar a velocidade de um feixe luminoso A2G1 afirma ser impossível frente a tecnologia disponível na atualidade, o que, segundo ele, poderá ser possível no futuro. O mesmo estudante afirma que segundo a relatividade de Galileu um observador poderia se mover muito rápido ao ponto de sua velocidade em relação a um

feixe luminoso se tornar nula, porém em relação a Teoria da Relatividade Restrita, por mais rápido que alguém se mova, a velocidade vai ser sempre “igual a  $c$ ”.

### EP2 por A2G1

Sobre o experimento do elevador de Einstein, A2G1 afirma que para a primeira situação O1 poderia afirmar que se encontra em repouso, em MRU ou sob a ação de um campo gravitacional, nas palavras de A2G1. “O1 concluiria que pode estar parado, com gravidade ou com movimento constante (MRU). Não existem experimentos que sejam conclusivos, eles têm o mesmo resultado para o estado de repouso, MRU ou ambiente com gravidade”.

Sobre a segunda parte A2G1 afirma que O2 atribuiria a aceleração do elevador devido a ação da força da criatura mítica. Todavia, O1 apenas perceberia que o elevador está acelerando devido ao sistema deixar de ser inercial. A2G1 afirma que seria possível definir por meio de experimentos a direção e o sentido da aceleração do elevador, porém não menciona quais seriam esses experimentos.

Sobre a situação em que o elevador se encontra em repouso no campo gravitacional terrestre, A2G1 afirma que O1 poderia concluir que o elevador está em dois estados possíveis: em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. A2G1 também afirma que nenhum experimento mecânico realizado poderia demonstrar em qual dos dois estados o elevador se encontra.

### Hierarquização dos significados construídos por A2G1

O Quadro 18 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A2G1 durante a realização dos EPs.

Quadro 18 - Hierarquização dos significados construídos por A2G1.

A2G1			
EPI	Subordinadas	Leis do Movimento (Física Clássica) & Equações de Maxwell.	Segundo a TRR a velocidade da luz será sempre igual a $c$ independente do referencial que se realize a medida.
			É mais “coerente” pensar que não existe nenhum referencial privilegiado, portanto a velocidade da luz pode ser medida em relação a qualquer referencial inercial.

	Superordenados	Dificuldade em atingir a velocidade da luz.	Existem limitações tecnológicas que fazem com que atualmente não se consiga igualar um observador a velocidade da luz.
			Segundo a relatividade de Galileu um observador poderia se mover muito rápido ao ponto de sua velocidade em relação a um feixe luminoso se tornar nula, porém em relação a Teoria da Relatividade Restrita por mais rápido que alguém se mova a velocidade vai ser sempre igual a $c$ .
	Combinatórios	Leis de Maxwell, Princípio da Relatividade	Em um referencial os campos são variáveis e em outro estáticos, como os dois são referenciais inerciais as leis deveriam ser as mesmas.
			Quando se assume que o corredor pode atingir a velocidade da luz o resultado do experimento não é aceitável de acordo com o eletromagnetismo nem de acordo com o princípio da relatividade.
EP2	Subordinadas	Equivalência.	No início do experimento (primeira parte) O1 concluiria que pode estar parado, com gravidade ou com movimento constante (MRU).
			Na segunda parte O1 apenas perceberia que o elevador está acelerando devido ao sistema deixar de ser inercial.
	Superordenados	Diferença entre um referencial inercial e não inercial.	O1 apenas perceberia que o elevador está acelerando devido ao sistema deixar de ser inercial.
	Combinatórios	Referencial inercial, aceleração, gravitação.	Percebe-se que o elevador está acelerando quando ele deixa de ser inercial.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Tomando como ponto de partida os significados evidenciados na análise do teste inicial, A2G1 parece ter mostrado uma evolução importante em suas construções durante a realização do EP1. Nas questões referentes ao teste inicial ele mostrou certa incompletude em alguns pontos, tanto referentes as leis clássicas do movimento como ao eletromagnetismo. Por exemplo, quando questionado no teste inicial sobre qual a concepção de onda eletromagnética no âmbito da teoria eletromagnética ele não faz nenhuma menção a algo que possa ser relacionado as equações de Maxwell, porém argumenta de forma correta (mesmo que não totalmente completa) sobre o comportamento dos campos elétrico e magnético no EP1. Isso mostra que houve uma melhor diferenciação nesses significados, tanto nos referentes ao eletromagnetismo como os referentes as leis do movimento.

Percebemos também que A2G1 cita em um trecho de seu material escrito que, de acordo com a Física Clássica, o corredor poderia atingir a velocidade da luz sem nenhum problema, porém, a TRR impõe que isso seria impossível. A2G1 utilizou e relacionou alguns conceitos da Física Clássica, por exemplo, o princípio da relatividade, quando afirma que os campos elétrico e magnético são estáticos em relação a um determinado referencial, porém variáveis em relação

a outro, e isso parece não estar de acordo com tal princípio. Todavia, A2G1 não fez nenhuma menção que pudesse ser relacionada a uma compressão mais direta do porque realmente a aparente incompatibilidade surge, ou seja, não foi mencionada diretamente nenhuma das leis de Maxwell. Nesse ponto, evidenciamos certa fragilidade nas considerações de A2G1, pois identificamos a falta de argumentos melhor fundamentados nas leis físicas. Essa fragilidade pode estar associada a falta de clareza em relação a alguns significados, inclusive alguns destes evidenciados no teste inicial.

A partir das considerações apresentadas por A2G1 no início do EP2 podemos fazer algumas inferências. Primeiramente temos que ele parece não ter compreendido o enunciado do EP ou não deu a atenção necessária no momento de impor as condições onde o experimento seria realizado. Isso porque no próprio enunciado está dito que inicialmente todos os observadores, incluindo o próprio elevador, estão em um ambiente sem efeitos gravitacionais. Outra inferência importante pode ser feita sobre a falta de clareza e o descuido em usar alguns conceitos e fazer determinadas afirmações, tais como “os experimentos tem o mesmo resultado para o estado de repouso, MRU ou ambiente com gravidade”. Ou seja, percebemos que A2G1 não impôs as condições iniciais do EP2 de forma adequada para a resolução dos problemas sugeridos.

De forma geral identificamos que A2G1 apresentou muitas inconsistências conceituais, relacionando poucos significados durante a resolução do EP. Por exemplo, ele relaciona que quando o elevador passa a acelerar ele deixa de ser inercial, porém, essa afirmação é trazida sem mais considerações e formulações. Além do mais algumas das equivalências construídas são mal formuladas e apresentam pouca clareza, como, por exemplo, a afirmação de que repouso, MRU e um ambiente com gravidade podem ser equivalentes. Na verdade, eles até podem, mas somente se o elevador estiver em queda livre em um campo gravitacional uniforme. Poderíamos fazer a inferência de que A2G1 possa ter pensado nessa possibilidade quando fez essa afirmação, entretanto, não é possível tal inferência visto que nenhum elemento nos dados coletados traz evidências que a justifiquem.

### **EP1 por A3G1**

Com relação a que referencial seria medida a velocidade da luz, A3G1 afirma que poderia ser qualquer referencial inercial que estivesse “fora”. Ele ainda estabelece quais as condições para que se possa considerar um referencial como inercial, ou seja, nas palavras de

A3G1: “seria um referencial que está parado ou se movendo com velocidade constante”. Todavia, aponta-se que não é especificado o que se quer dizer com um referencial que estivesse “fora”.

Sobre como o corredor observaria os campos elétrico e magnético, A3G1 afirma que ele perceberia os campos variando (espacialmente e temporalmente) quando existisse movimento entre o corredor e o feixe, e estáticos (espacialmente e temporalmente) quando o corredor igualasse a sua velocidade a do feixe. A3G1 ainda afirma que esse resultado está de acordo tanto com o eletromagnetismo como com a princípio da relatividade galileano. Na sua construção ele afirma que esse resultado aparentemente contraditório ocorre pelo fato de que o princípio da relatividade é aplicável apenas para partículas e como a luz é uma onda ele não é válido.

Sobre a possibilidade de se realizar o feito sugerido pelo EP, A3G1 afirma que isso não é possível porque a massa possivelmente se desintegraria e o tempo pararia. Ele ainda levanta questões tecnológicas, ou seja, afirma que isso não pode ser realizado pela tecnologia atualmente disponível.

### **EP2 por A3G1**

Sobre os eventos relacionados à parte 1 da atividade, A3G1 afirma O2, tampouco O1, podem afirmar que o elevador se encontra em MRU ou em repouso. Frisamos que o argumento apresentado por ele está embasado principalmente na ideia de que os dois estados podem ser considerados inerciais. A3G1 sugere inclusive que O1 realize alguns experimentos no interior do elevador, tais como, abandonar um objeto, que segundo a sua compreensão pensa que o mesmo ficaria flutuando, ou abandonar um pêndulo, que em sua interpretação não apresentaria oscilação alguma.

Sobre a segunda parte do EP, A3G1 afirma que O2 atribuiria a aceleração a ação da criatura mítica, e inclusive poderia medir seu valor medindo as grandezas tempo e distância em relação ao seu referencial. Todavia, pontua ainda que O1 apenas poderia perceber a aceleração do elevador por sentir um “tranco”. Segundo A3G1, esse “tranco” só seria sentido por O1 no instante inicial do movimento acelerado, pois após o início do movimento, na sequência, cessaria essa percepção.

Sobre a terceira parte do EP, A3G1 afirma que apenas O2 perceberia a mudança de localização. Pelo fato de O1 não ter nenhum contato visual com o meio externo ele ficaria

totalmente dependente dos eventos que pudesse registrar por meio de experimentos na parte interna do elevador. De acordo com a análise de A3G1, O1 poderia realizar uma série de experimentos no interior do elevador, e todos eles teriam os mesmos resultados da situação anterior onde o elevador estava sendo acelerado devido a ação da criatura mítica. Mesmo mencionando corretamente as conclusões de O1, A3G1 não menciona exatamente quais seriam os experimentos a serem realizados dentro do elevador.

Na parte quatro do EP se sugere que o cabo se rompe e o elevador passa a se mover em queda livre. Considerando essa situação, A3G1 afirma que O1 poderia definir que o elevador passou a acelerar pois seria arremessado contra o teto devido a inércia. Para ilustrar melhor esses eventos A3G1 ainda sugere que O1 abandone um objeto dentro do elevador observando que este também é arremessado contra o teto. A3G1 ainda afirma que O1 perceberia a diferença dessa situação para a situação sugerida na parte um do EP pelo fato de que agora o observador dentro do elevador estaria sendo arremessado para o teto, o que necessariamente não acontecia na parte um do EP.

### Hierarquização dos significados construídos por A3G1

Prosseguindo com a análise das respostas fornecidas, na sequência, o Quadro 19 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A3G1 durante a realização dos EPs.

Quadro 19 - Hierarquização dos significados construídos por A3G1.

A3G1				
EPI	Subordinadas	Leis do Movimento (Física Clássica) & Equações de Maxwell.	A velocidade da luz poderia ser medida em relação a um referencial inercial que estivesse “fora” ou parado tipo a Terra. Para o instante em que o corredor iguala a sua velocidade a da luz os campos (tanto elétrico como magnético) seriam estáticos em relação a ele.	O resultado do experimento está de acordo tanto com o princípio da relatividade como com o eletromagnetismo.
	Superordenados	Dificuldade em atingir a velocidade da luz.	Antes de alguém atingir essa velocidade possivelmente a massa se desintegraria e o tempo pararia. A tecnologia atual não é capaz de atingir essa velocidade.	
	Combinatórios	Leis de Maxwell, Princípio da Relatividade	Em um referencial os campos são variáveis e em outro estáticos, assim como quando o motociclista persegue o ônibus e se encontra em movimento em relação a ele e depois em repouso.	
			Como a luz é uma onda o princípio da relatividade não é valido visto que lida apenas com partículas.	
EP2	Subordinadas	Equivalência.	O1 perceberia a diferença da situação em queda livre para a situação sugerida na parte um do	O2 tampouco O1 podem diferenciar entre repouso e MRU, qualquer

			EP pelo fato de que em queda livre estaria sendo arremessado para o teto do elevador.	experimento daria os mesmos resultados nos dois casos.
				No momento que o elevador começasse a acelerar (ação da criatura mítica) O1 sentiria um tranco, que só seria sentido por O1 no instante inicial do movimento acelerado, cessando na sequência.
	Superordenados	Diferença entre um referencial inercial e não inercial.	Repouso e MRU podem ser considerados referenciais inerciais.	O1 apenas poderia perceber a aceleração do elevador por sentir um “tranco”, e esse “tranco” só seria sentido por O1 no instante inicial do movimento acelerado, cessando na sequência.
	Combinatórios	Referencial inercial, aceleração, gravitação.	O1 perceberia a diferença da situação em queda livre para a situação sugerida na parte um do EP pelo fato de que em queda livre estaria sendo arremessado para o teto do elevador.	Com o elevador em repouso na Terra O1 poderia realizar uma série de experimentos em seu interior, e todos eles teriam os mesmos resultados da situação anterior onde o elevador estava sendo acelerado devido a ação da criatura mítica.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Sobre a aprendizagem subordinada notamos, por meio da análise das produções textuais de A3G1, que este conseguiu evidenciar o fato de que no EP1 deveria surgir um problema com o princípio da relatividade. Todavia, ele resolve este problema afirmando que tal princípio não deve ser aplicável a luz, pois esta é uma onda e o princípio da relatividade é aplicável apenas a partículas. Outras dificuldades conceituais podem ser verificadas nas produções textuais de A3G1, como, por exemplo, a ideia de que o referencial em relação ao qual deveria ser definida a velocidade da luz deveria estar “fora” ou “parado”.

No que diz respeito a aprendizagem subordinada, A3G1 não consegue estabelecer todas as equivalências possíveis por meio da realização do EP2. Ele estabelece somente a equivalência entre as situações inerciais do início do EP2, e de quando o elevador está acelerado com a situação em que se encontra em repouso no campo gravitacional, porém afirma não ser equivalente a situação de queda livre com a situação em que o elevador se encontra flutuando livre da ação de qualquer força.

No que tange a aprendizagem superordenada, A3G1 ainda estabelece algumas relações sobre características dos referenciais inerciais, isso pode ser evidenciado pelas afirmações feitas no início da realização do EP2, em que A3G1 considera impossível, tanto O1 como O2 diferenciar o estado de movimento do elevador entre repouso e MRU. Todavia, A3G1 se equivoca quando afirma que o “tranco” sentido por O1 no instante em que o elevador passa a acelerar devido a força aplicada pela criatura mítica sessa em seguida. Ele também não consegue estabelecer todas as equivalências possíveis na realização do EP2, ou seja, ele afirma

ser possível diferenciar a situação de queda livre da situação de repouso ou MRU em ambiente de gravidade zero. A3G1 afirma que em queda livre tudo o que for abandonado no interior do elevador será arremessado para o teto, e esse efeito pode ser utilizado para se fazer essa diferenciação.



### **EP1 por A4G1**

Sobre o referencial em relação ao qual seria medida a velocidade da luz, A4G1 afirma que deveríamos escolher um referencial fixo. Em suas palavras: “Para medir a velocidade da luz é preciso estar em um local fixo”. O acadêmico não deixa claro qual é o significado atribuído a esse “local fixo”. Poderíamos inferir que se trata de um referencial inercial ou ele está utilizando a ideia de que deve existir um referencial privilegiado em relação ao qual se deve medir a velocidade da luz?

Sobre a definição dos campos elétrico e magnético, A4G2 afirma que para a primeira situação onde existe velocidade relativa entre o feixe de luz e o corredor os campos seriam variáveis espacialmente e temporalmente. Todavia, para a situação em que o corredor iguala a sua velocidade a do feixe luminoso, os campos deveriam ser variáveis espacialmente porem estáticos no tempo. Segundo ele os campos deveriam vibrar, mas sem se propagar.

Sobre a possibilidade de realizar o feito sugerido pelo EP, A4G2 afirma ser impossível com a tecnologia atual, mas segundo ele com o avanço da tecnologia e da engenharia, em um futuro distante pode ser que se consigamos realizar essa façanha. Quando fala sobre essa impossibilidade, A4G2 em nenhum momento menciona problemas teóricos relacionados ao princípio da relatividade e o eletromagnetismo de Maxwell.

### **EP2 por A4G1**

No que diz respeito a primeira parte, A4G1 afirma que O2 e O1 concordam com as possibilidades de estados de movimento do elevador. Ou seja, tanto O2 como O1 concluem que o elevador pode estar em repouso ou em MRU. De acordo com A4G1 a diferença está em como eles chegam a essas conclusões. O2 pode chegar a esse resultado apenas observando se a distância entre o elevador e a origem do sistema S2 varia ao longo do tempo, se variar distancias iguais em tempos iguais o elevador está em MRU, se a distância não variar está em repouso. Todavia, O1 não possui contato visual com o meio externo, nesse sentido ele teria que chegar a alguma conclusão realizando algum tipo de experimento na parte interna do elevador. A4G1 sugere que O1 abandone um objeto no interior do elevador, nas palavras de A4G1: “pode-se detectar isso soltando um objeto no interior do elevador, se ele se deslocar para baixo, o sistema está em repouso em um campo gravitacional ou acelerado, se ele ficar estático está em repouso ou MRU em um ambiente de gravidade zero”.

Para a segunda parte, A4G1 menciona que somente O2 poderia afirmar que a aceleração gerada no elevador se trata de uma consequência da força aplicada pela criatura mítica. O1, dentro do elevador poderia chegar a qualquer conclusão realizando a mesma experiência da situação anterior, ou seja, abandonando um objeto dentro do elevador. A4G1 ainda pondera que o resultado do experimento leva a conclusão de que existem dois estados de movimento possíveis para o elevador. Segundo A4G1: “Ele pode abandonar um objeto dentro do elevador como na situação anterior, a ação da gravidade ou uma aceleração constante teriam o mesmo efeito dentro do elevador”.

Na terceira parte do EP, A4G1 argumenta novamente que apenas O2 perceberá a mudança na localização do elevador. Já O1, não perceberá nada se alterar, ou seja, os resultados de qualquer experimento que ele realizar dentro elevador vão ser os mesmos que na situação sugerida na parte dois da atividade.

Para a quarta parte A4G1 sugere que O1 realize novamente o experimento de abandonar um objeto dentro do elevador. Segundo ele, se O1 abandonar uma “bola” dentro do elevador, perceberá ela flutuando a sua frente. Nesse sentido, A4G1 pondera que O1 não teria como diferenciar essa condição da sugerida na primeira parte da atividade, nas palavras dele: “Não teria como diferenciar essas duas situações estando no interior do elevador, pois qualquer experimento teria o mesmo resultado”.

### Hierarquização dos significados construídos por A4G1

O Quadro 20 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A4G1 durante a realização dos EPs.

Quadro 20 - Hierarquização dos significados construídos por A4G1.

A4G1				
EP1	Subordinadas	Leis do Movimento (Física Clássica) & Equações de Maxwell.	Para medir a velocidade da luz é preciso estar em um local fixo.	
	Superordenados	Dificuldade em atingir a velocidade da luz.	Especialmente os campos seriam variáveis, porém estáticos no tempo, ou seja, vibrariam, mas sem se propagar.	
	Combinatórios	Leis de Maxwell, Princípio da Relatividade	Com a tecnologia atual seria impossível atingir a velocidade da luz.	
EP2	Subordinadas	Equivalência.	Conceito de local fixo em relação ao qual seria medida a velocidade da luz.	
			Tanto O2 como O1 concordam que na primeira parte do EP o elevador pode estar em repouso ou MRU.	Para O1 os resultados de qualquer experimento que ele realizar dentro elevador em repouso na superfície da Terra vão ser os mesmos que

				na situação em que ele estava sendo puxado pela criatura mítica.
				Quando o elevador estiver em queda livre no campo gravitacional terrestre, se O1 abandonar uma “bola” dentro do elevador perceberá esta flutuando a sua frente, não podendo ele diferenciar essa situação da inicial sugerida pelo EP.
	Superordenados	Diferença entre um referencial inercial e não inercial.	Se um objeto abandonado dentro do elevador acelerar em algum sentido o sistema não é inercial.	
	Combinatórios	Referencial inercial, aceleração, gravitação.	Se O1 abandonar uma “bola” dentro do elevador perceberá esta flutuando a sua frente, não podendo ele diferenciar a situação de queda livre da inicial sugerida pelo EP.	Pode-se detectar isso soltando um objeto no interior do elevador, se ele se deslocar para baixo, o sistema está em repouso em um campo gravitacional ou acelerado, se ele ficar estático está em repouso ou MRU em um ambiente de gravidade zero.
			O1 pode abandonar um objeto dentro do elevador como na situação anterior, a ação da gravidade ou uma aceleração constante teriam o mesmo efeito dentro do elevador.	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Durante a realização do EP1 percebemos determinada diferenciação no que diz respeito a como seriam definidos os campos elétrico e magnético quando se muda de referencial. Ou seja, A4G1 afirma corretamente que os campos deveriam ser variáveis espacialmente e estáticos no tempo. Porém, A4G1 utilizou uma ideia controversa quando menciona que a velocidade da luz deveria ser definida em relação a um local “fixo”. Interpretamos essa ideia como a concepção de que deveria existir algum referencial privilegiado, ou seja, “fixo”.

Uma ideia que não aparece nas considerações de A4G1, mesmo que no texto orientador tenha sido questionado sobre, é a aparente incompatibilidade emergente entre o princípio da relatividade e o eletromagnetismo de Maxwell. Ao invés de mencionar esses problemas de cunho teórico, A4G1 menciona apenas que não seria possível o corredor atingir a velocidade da luz por questões tecnológicas.

Durante a realização do EP2 é possível inferir que A4G1 aplicou de forma correta os conceitos nos problemas levantados, chegando as equivalências possíveis pelas situações sugeridas. Isso porque na aprendizagem superordenada A4G1 se utilizou de argumentos relacionados a mudança no estado de movimento de objetos abandonados no interior do elevador para diferenciar o sistema inercial do não inercial. Para a aprendizagem combinatória

podemos dizer que A4G1 estabeleceu relações significativas entre os conceitos de referencial inercial, aceleração e gravitação.

### **EP1 por A5G1**

A5G2 afirma que a velocidade da luz deveria ser medida em relação ao “espaço que permeia o Universo”. Com essa afirmação A5G2 parece estar utilizando o conceito de espaço absoluto e este como sendo um referencial privilegiado. Ele também parece ignorar a necessidade de um sistema de coordenadas.

Sobre os campos elétrico e magnético, A5G2 considera que para o referencial “fixo” ambos, magnético e elétrico, devem ser variáveis espacialmente e temporalmente. Já para o referencial em repouso em relação ao feixe os campos se comportariam de forma distinta, nas palavras de A5G2: “Para o referencial em repouso em relação ao feixe um dos campos seria visto oscilando (o que oscila verticalmente), o outro seria visto como um ponto, todavia ambos não se propagariam. Então eles seriam variáveis no espaço, mas estáticos no tempo”.

Sobre a possibilidade de um corredor se igualar à velocidade da luz, A5G2 traz algumas considerações bem construídas, do ponto de vista físico. A primeira é a de que para acelerar um corpo à velocidade da luz seria necessária uma quantidade “gigantesca” de energia, mesmo que ele tivesse uma massa muito pequena. A5G2 ainda considera que a luz somente tem essa velocidade por não possuir massa, ou seja, a massa é uma variável a se levar em consideração ao se acelerar um corpo a altas velocidades, o que está de acordo tanto à Física Clássica quanto à Física Moderna. Outra consideração de A5G2 está atrelada ao problema teórico que surge em relação ao princípio da relatividade, ao afirmar que: “Ao se considerar que o corredor possa igualar a sua velocidade a da luz criamos um problema entre o eletromagnetismo e o princípio da relatividade, pois leis diferentes parecem ser obtidas para dois referenciais inerciais”.

### **EP2 por A5G1**

Na primeira parte da atividade A5G1 infere que O2 teria como afirmar, por meio de contato visual, que o elevador está flutuando na ausência de um campo gravitacional. Todavia, O1 não saberia ao certo se está em repouso ou MRU num ambiente de gravidade zero, ou em queda livre sob a ação de um campo gravitacional. A5G1 sugere inclusive a realização de uma experiência no interior do elevador, nas suas palavras: “O observador dentro do elevador

poderia abandonar um objeto e observar que ele flutuaria, porém isso também aconteceria se ele estivesse em queda livre num campo gravitacional”.

Na segunda parte do EP A5G1 afirma que O1 perceberá um “solavanco”, segundo ele devido a esse efeito que O1 poderá afirmar que entrou em movimento acelerado. A5G1 ainda sugere que seja repetido o mesmo experimento da primeira parte do EP, ou seja, abandona-se um objeto no interior do elevador, segundo as suas conclusões, se o elevador estiver acelerando para cima o objeto se deslocará (de forma acelerada) para baixo, e se o elevador estiver acelerando para baixo o objeto se deslocará no sentido do teto.

A terceira parte do EP sugere que o elevador seja levado para as proximidades da superfície terrestre. Ele é mantido em repouso num local onde a aceleração gravitacional possui o mesmo módulo do que a impressa anteriormente pela criatura mítica. Todavia, para A5G1 a situação seria distinta da anterior para O1, visto que agora ele não sentiria “solavanco” algum. Nesse caso, A5G1 afirma que O1 poderia fazer uma diferenciação entre as duas situações: “O1 poderia diferenciar as duas situações, pois na Terra ele estará sob efeito da aceleração gravitacional, já no espaço estará sendo ‘jogado’ conforme o movimento do elevador”.

Para a quarta parte, A5G1 parece conseguir perceber a equivalência entre o sistema em queda livre em um campo gravitacional uniforme e em repouso num ambiente de gravidade zero. A5G1 afirma que O1 perceberá que tudo dentro do elevador está flutuando como se estivesse em repouso em um ambiente de gravidade zero.

### Hierarquização dos significados construídos por A5G1

O Quadro 21 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A5G1 durante a realização dos EPs.

Quadro 21 - Hierarquização dos significados construídos por A5G1.

A5G1					
EPI	Subordinadas	Leis do Movimento (Física Clássica) & Equações de Maxwell.	A velocidade da luz deveria ser medida em repouso em relação ao espaço que permeia o Universo. Para o referencial fixo a luz se move então os campos vibram e se deslocam, ou seja, são variáveis espacialmente e temporalmente.	Para o referencial em repouso em relação ao feixe um dos campos seria visto oscilando (o que oscila verticalmente), o outro seria visto como um ponto, todavia ambos não se propagariam. Então eles seriam variáveis no espaço, mas estáticos no tempo.	Ao se considerar que o corredor possa igualar a sua velocidade a da luz criamos um problema entre o eletromagnetismo e o princípio da relatividade, pois leis diferentes parecem ser obtidas para dois referenciais inerciais.

	Superordenados	Dificuldade em atingir a velocidade da luz.	Seria necessária uma energia gigantesca para um corpo com massa minimamente considerável atingir a velocidade da luz.	
			Ondas eletromagnéticas tem massa nula por isso viajam a velocidade da luz.	
	Combinatórios	Leis de Maxwell, Princípio da Relatividade	A velocidade da luz seria medida em relação ao espaço que permeia o Universo.	
			Ao se considerar que o corredor possa igualar a sua velocidade a da luz criamos um problema entre o eletromagnetismo e o princípio da relatividade, pois leis diferentes parecem ser obtidas para dois referenciais inerciais.	
EP2	Subordinadas	Equivalência.	Na primeira parte do EP o elevador poderia estar em repouso ou MRU num ambiente de gravidade zero ou em queda livre sob a ação de um campo gravitacional.	Abandona-se um objeto no interior do elevador, se o elevador estiver acelerando para cima o objeto se deslocará (de forma acelerada) para baixo e se o elevador estiver descendo o objeto se deslocará no sentido do teto.
			O observador dentro do elevador poderia abandonar um objeto e observar que ele flutuaria, porém isso também aconteceria se ele estivesse em queda livre num campo gravitacional.	O1 poderia diferenciar as duas situações, pois na Terra ele estará sob efeito da aceleração gravitacional, já no espaço estará sendo “jogado” conforme o movimento do elevador.
	Superordenados	Diferença entre um referencial inercial e não inercial.	Em um referencial inercial O1 não percebe nenhum solavanco.	
			Quando o elevador estiver sendo acelerado pela criatura mítica O1 perceberá um “solavanco”, devido a esse efeito ele poderá afirmar que entrou em movimento acelerado.	
	Combinatórios	Referencial inercial, aceleração, gravitação.	O2 saberá que o elevador está em queda livre em um campo gravitacional pois poderá observar por meios visuais. Já O1 perceberá que tudo dentro do elevador está flutuando como se estivesse em repouso em um ambiente de gravidade zero.	
			O1 poderia diferenciar as duas situações, pois na Terra ele estará sob efeito da aceleração gravitacional, já no espaço estará sendo “jogado” conforme o movimento do elevador.	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A5G1 parece estabelecer corretamente as especificidades da teoria eletromagnética no que diz respeito a mudança de sistema de referência sugerida pelo EP1. Porém, podemos evidenciar pela análise dos materiais escritos produzidos por A5G1, a utilização de uma expressão bastante controversa no que diz respeito ao referencial em relação ao qual seria medida a velocidade da luz, é utilizado o termo “espaço que permeia o Universo”. Não sabemos ao certo o que A5G1 quis dizer com esse termo, porém é possível inferir uma relação com a ideia newtoniana de espaço absoluto.

Sobre o comportamento dos campos elétrico e magnético observamos algumas construções fidedignas em sua resposta, como, por exemplo, quando ele defende a ideia de que os campos seriam variáveis espacialmente, porém, estáticos no tempo. A5G2 parece também utilizar mentalmente a representação de onda eletromagnética mais usual nos livros texto, onde sabidamente temos vetores representando os campos em dois planos (perpendiculares entre si).

Segundo sua construção mental, o observador iria “ver” um dos campos como um ponto e o outro vibrando verticalmente, ou seja, a representação de um vetor como uma seta geraria esse efeito.

No que diz respeito a aprendizagem superordenada, compreendemos que A5G1 se utiliza das relações entre força, massa e aceleração, para afirmar que não seria possível um corpo com massa diferente de zero atingir a velocidade da luz. Nota-se que em suas construções, A5G1 afirma que para acelerar qualquer massa diferente de zero a velocidade da luz seria necessária uma energia gigantesca, todavia, como a luz não possui massa pode atingir essa velocidade.

Por meio da análise dos dados referentes a realização do EP2 por A5G1 identificamos que as equivalências entre os sistemas em gravidade zero e queda livre foram corretamente definidas, porém afirmou que as situações de repouso na superfície terrestre e aceleração constante no espaço não seriam equivalentes.

Identificamos também que A5G1 pautou os significados relacionados aos efeitos verificados em um sistema inercial e em outro não inercial, no que chamamos de aprendizagem superordenada. Nesse sentido, A5G1 utilizou a ideia de que em um sistema de referência não inercial o observador sentiria um “solavanco”. Esse “solavanco” pode ser entendido como aquilo que se conhece na Física como força fictícia de inércia. Todavia, não conseguiu relacionar de forma coerente esse “solavanco” como um efeito que também ocorre devido ao campo gravitacional, constatação que o levaria a equivalência entre massa inercial e gravitacional.

### **EP1 por A6G1**

Sobre o referencial em relação ao qual a velocidade da luz deveria ser medida, A6G1 afirma que poderia ser qualquer referencial, desde que este fosse inercial. E complementa esse raciocínio dizendo que não faria diferença qual é o referencial que fosse medida a velocidade da luz, sendo ele inercial as leis da Física devem ser as mesmas.

Sobre os campos elétrico e magnético, A6G1 afirma que para o caso de o corredor igualar a sua velocidade a do feixe, eles seriam ambos estáticos espacialmente e temporalmente. A6G1 complementa afirmando que campos estáticos não configuram uma onda eletromagnética, visto que essa segundo as leis de Maxwell deve ser constituída de campos variáveis. A6G1 complementa a sua resposta afirmando que esse resultado põe em contradição

as leis de Maxwell com o princípio da relatividade. De acordo com as suas considerações as leis da Física deveriam ser as mesmas para qualquer referencial inercial, porém nesse experimento obtemos campos variáveis em um referencial e estáticos em outro.

Sobre a possibilidade de o corredor igualar a sua velocidade a do feixe luminoso A6G1 faz duas afirmações. A primeira está relacionada a quantidade de energia necessária, que segundo sua resposta deveria ser infinita. A segunda está relacionada ao fato do corpo de um ser humano não ser capaz de suportar mecanicamente a aceleração necessária para atingir tal velocidade.

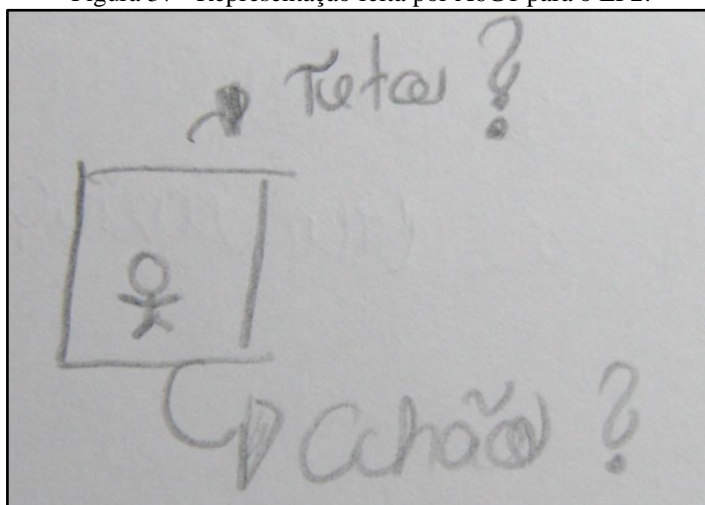
### **EP2 por A6G2**

Para a parte um da atividade, A6G1 estabelece que O2, se utilizará do sistema de referência S2 para medir a distância do elevador em relação ao respectivo sistema de referência. Medindo a distância em função do tempo ele poderá afirmar qual é o estado de movimento do elevador, que no caso da primeira parte do EP pode ser repouso ou MRU.

Segundo A6G1, O1 não saberá nada sobre o estado de movimento do elevador, a não ser se realize algum experimento para determiná-lo. A6G1 sugere a realização de um experimento utilizando um pêndulo simples, como mencionado por ele: “[...] realizando o experimento do pêndulo simples, através da variação do ângulo do pêndulo ele poderá determinar qual é o seu estado de movimento, mas não a sua localização”. Nesse caso o pêndulo não oscilará, e esse resultado condiz com um referencial inercial, onde não se percebem efeitos do movimento. A6G1 ainda completa afirmando que O1 não tem nenhum argumento para definir onde é o chão ou o teto do elevador, visto que não possui nenhuma referência para tal e se encontra flutuando em seu interior. A Figura 37 ilustra esta afirmação dada por A6G1:



Figura 37 - Representação feita por A6G1 para o EP2.



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Para a segunda parte do EP, A6G1 afirma que se utilizando do sistema de referência S2, O2 observará o elevador se mover na direção da força aplicada pela criatura mítica. Quanto a O1, apenas pode perceber o estado de movimento pelos eventos que ocorrem na parte interna do elevador, segundo A6G1 “Inicialmente sente o ‘tranco’ e como a aceleração é constante continuará sentindo o mesmo puxão. Se abandonar algum objeto no interior do elevador este acompanhará a sua situação, ou seja, também será submetido a esse puxão”. A6G1 ainda afirma que esse “puxão” não é percebido quando se trata de um referencial inercial como anteriormente.

Sobre a terceira parte, A6G1 afirma que apenas O2 terá conhecimento da “real” situação em que o elevador se encontra, sendo que O1 poderá fazer considerações a partir dos eventos transcorridos no interior do elevador. Nesse sentido, O1 não poderá de fato diferenciar a atual condição da anterior, ou seja, segundo A6G1, “Ele não saberá exatamente pois devido a ação da gravidade se realizar qualquer experimento no interior do elevador terá o mesmo resultado que na situação anterior, então ele não pode afirmar com certeza qual é o seu estado de movimento”.

Na quarta parte do EP, A6G1 afirma que O1 sentiria como se seu peso fosse nulo, ou seja, ficaria flutuando no interior do elevador. Segundo A6G1 seria impossível O1 poder diferenciar entre essa situação e a do início do EP (parte 1).

### **Hierarquização dos significados construídos por A6G1**

O Quadro 22 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A6G1 durante a realização dos EPs.

Quadro 22 - Hierarquização dos significados construídos por A6G1.

A6G1				
EP1	Subordinadas	Leis do Movimento (Física Clássica) & Equações de Maxwell.	A velocidade da luz poderia ser medida em relação a qualquer referencial inercial.	O corredor com velocidade igual a de um feixe luminoso põe em contradição as leis de Maxwell com o princípio da relatividade de Galileu.
			Campos elétricos e magnéticos estáticos não configuram uma onda eletromagnética.	
	Superordenados	Dificuldade em atingir a velocidade da luz.	Para atingir tal velocidade seria necessária uma quantidade infinita de energia.	
			O corpo humano não suportaria a aceleração necessária para atingir uma velocidade tão alta.	
	Combinatórios	Leis de Maxwell, Princípio da Relatividade	Em um referencial os campos são variáveis e em outro estáticos, como os dois são referenciais inerciais as leis deveriam ser as mesmas.	
			O experimento põe em contradição as leis de Maxwell com o princípio da relatividade.	
EP2	Subordinadas	Equivalência.	Qualquer experimento realizado no elevador acelerado devido a criatura mítica e em repouso no campo gravitacional terrestre terá o mesmo resultado.	Repouso e MRU são situações equivalentes.
			O1 não consegue diferenciar se está em queda livre ou em repouso (ou MRU) num ambiente de gravidade zero.	
	Superordenados	Diferença entre um referencial inercial e não inercial.	Em um referencial inercial não se percebem efeitos do movimento.	
			Em sistemas acelerados sente-se um “puxão”.	
	Combinatórios	Referencial inercial, aceleração, gravitação.	Em um sistema acelerado o observador sente um puxão, já no referencial inercial não.	Um sistema sendo acelerado pela ação de uma força qualquer (criatura mítica) e um campo gravitacional uniforme são equivalentes.
			Qualquer experimento realizado sob a ação da gravidade fornecerá o mesmo resultado que outro no sistema acelerado pela criatura mítica.	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No que diz respeito a aprendizagem subordinada A6G1 aplicou de forma coerente as leis do movimento para uma onda eletromagnética, podendo levantar o problema sugerido pelo EP1. Sobre o comportamento dos campos, A6G1, construiu um significado correto no que diz respeito a mudança de referencial, com um ressalvo, os campos são variáveis espacialmente porem estáticos no tempo.

Para a aprendizagem superordenada, A6G1 também traz considerações em relação a quantidade de energia necessária para acelerar um corpo a velocidade da luz e a resistência de um corpo humano sujeito a tais acelerações. No que respeito a aprendizagem combinatória, podemos identificar que A6G1 conseguiu estabelecer relações entre alguns conceitos referentes

as leis de Maxwell e o princípio da relatividade, evidenciando assim a aparente contradição existente entre essas duas leis que pode ser levantada pelo EP realizado.

Por meio da análise dos dados produzidos durante a realização do EP2 percebemos que A6G1 estabeleceu corretamente as equivalências possíveis. Podemos notar uma evolução entre a sua resposta no teste inicial, onde afirmou que em queda livre o peso de um objeto medido em uma balança dentro do elevador diminuiria, mas não seria zero.

Para a aprendizagem superordenada, A6G1 utilizou a ideia relacionada aos efeitos percebidos por um observador em um sistema de referência inercial. A6G1 se referiu a um “puxão” que seria sentido pelo observador em movimento acelerado, esse “puxão” pode ser entendido com o que se conhece na Física por força fictícia de inércia. Na aprendizagem combinatória podemos inferir que, dentro dos limites e aplicações sugeridas pelo EP2, A6G1 estabeleceu de forma coerente as relações entre referencial inercial, aceleração e gravitação.

#### 6.4.3.2.2 Dados referentes as discussões coletivas

Os estudantes realizaram individualmente as atividades relacionadas aos EPs, todavia, ao término de cada episódio de ensino foram realizadas discussões coletivas entre os estudantes com a mediação do professor/pesquisador. Esses momentos das atividades foram gravados em vídeo e subsidiaram as discussões que seguem. A transcrição das falas foi corrigida em termos de linguagem.

#### **EP1 pelo grupo G1**

A2G1 argumenta que se for assumida a existência do éter, então a velocidade da luz poderia ser definida em relação a esse referencial. Todavia, segundo A2G1, descartando a necessidade de tal substância, a velocidade da luz poderia ser definida em relação a qualquer referencial, desde que este seja inercial. A6G1 complementa afirmando que poderia ser definida em relação a qualquer referencial inercial pois “não existe nenhum referencial privilegiado”. Nesse momento o professor/pesquisador questiona a turma sobre o que significa não existir nenhum referencial privilegiado. Como resposta a esse questionamento, A6G1 afirma que isso significa que qualquer experimento daria o mesmo resultado.

A partir dessas discussões A3G1 levanta o seguinte questionamento: “Se a velocidade da luz pode ser medida em relação a qualquer referencial inercial, então faria alguma diferença se esse referencial fosse o éter ou a Terra?” A partir desse questionamento, A4G1 argumenta

que a Terra não poderia ser considerada um referencial inercial, pois está girando, logo possui aceleração (centrípeta).

A2G1 argumenta que se for assumido que o corredor consiga igualar a sua velocidade a da luz, a sua velocidade em relação ao feixe será zero. Todavia, em relação ao sistema fixo em relação ao chão ambos (corredor e feixe de luz), se movem com velocidade constante igual a  $c$ . A3G1 complementa afirmando que o corredor não teria como realizar nenhum experimento para verificar que se encontra em movimento ou repouso devido a sua velocidade ser constante.

A3G1 afirma que a partir do momento em que o corredor igualaria a sua velocidade a da luz ele observaria a luz estática, porém, na parte da onda que ficaria para trás e para a frente poderia se observar o Efeito Doppler. Nesse momento o professor/pesquisador questiona A3G1 em como ele “observaria” os campos que ficaram para trás se a sua velocidade é igual à da luz? Ele fica pensativo, e nesse meio tempo A6G1 o ajuda, afirmando que como a velocidade do corredor é igual à da luz nenhuma informação da parte que ficou para “traz” pode ser recebida, ou seja, em suas palavras “a luz que ficou para trás não alcança o corredor”.

A5G1 afirma que ele iria “ver” um campo oscilando verticalmente e o outro não pois ficaria no mesmo plano de visão, mas nenhum dos dois campos se propagaria. Nesse momento, o professor/pesquisador intervém e faz alguns questionamentos. O primeiro é sobre se os campos elétrico e magnético são estáticos ou variáveis, refinando a pergunta os alunos são questionados se os campos são estáticos ou variáveis no espaço e no tempo.

Nesse momento, foi possível perceber duas questões interessantes relacionadas a como os estudantes imaginam uma onda eletromagnética e a sua concepção de observar e medir. Com base na fala e nos gestos de A5G1 percebemos que ele estava tentando imaginar os vetores campo elétrico e magnético perpendiculares como usualmente se representa uma onda eletromagnética polarizada nos livros texto. Quanto a essa representação não existem objeções, a questão mais fundamental é que estava havendo uma confusão, quase consensual na turma, em relação aos termos observação e medição. Ou seja, se o corredor está enxergando ou não os campos não é a questão do EP (até porque o ato de enxergar envolve outras questões), e sim como se poderia definir os campos em relação ao seu referencial independentemente de estes estarem paralelos ou perpendiculares a direção da “visão” do corredor. Para trazer mais elementos a discussão, o professor/pesquisador intervém, lembrando os estudantes que a questão é se os campos vibram espacialmente e se propagam, ou seja, se possuem variação temporal e não o problema de como se pode “vê-los”.

Sobre a possibilidade de ocorrer o sugerido pelo EP, todos os estudantes concordaram que isso seria impossível, porém cada um com uma justificativa diferente. Por exemplo, A5G1

afirmou que para acelerar qualquer massa, por menor que seja, seria necessária uma energia infinita. A3G1 afirmou que com a tecnologia atual não seria possível, mas no futuro talvez se pudesse realizar esse experimento. Todas as afirmações estavam fundamentadas, e muitas delas de forma correta, todavia, nenhum dos participantes, pelo menos no momento das discussões coletivas, mencionou o problema teórico que pode ser levantado por meio do EP no que diz respeito ao princípio da relatividade e as equações de Maxwell. Nesse momento o professor/pesquisador, fez uma inferência no sentido de questionar a turma sobre como o princípio da relatividade e as equações de Maxwell poderiam ser válidas a partir dos resultados obtidos por meio do EP. A partir dessa inferência alguns estudantes manifestaram que as duas leis pareciam incompatíveis, por exemplo, A5G1 afirma que para um referencial seria elaborada uma lei, ou seja, campos variáveis constituindo uma onda eletromagnética, todavia para outro referencial não existiria onda alguma, visto que os campos seriam estáticos. A aula foi encerrada de forma expositiva onde o professor demonstrou a aplicação da Lei de Faraday-Lenz para o referencial em repouso em relação a onda com o intuito de formalizar melhor o problema.

### **EP2 pelo grupo G1**

No início da discussão A3G1 afirma que O2 conclui que tanto faz se a caixa está em repouso ou MRU, a única diferença é que se estiver em MRU haverá uma variação de distância, mas os efeitos são os mesmos para os dois casos visto que se tratam ambos de referenciais inerciais. A1G1 complementa afirmando que isso pode ser constatado pelo fato de que os resultados de qualquer experimento realizado no interior do elevador seriam os mesmos para os dois casos.

Na sequência da discussão A3G1 afirma que O2 percebe que a criatura mítica está imprimindo uma aceleração pois pode ter contato visual com a mesma. A1G1 afirma que O2 percebe a variação de velocidade e a simetria anterior já não existe mais. A partir desse momento o professor/pesquisador levanta uma discussão sobre como O2 poderia medir essa variação de velocidade do elevador. A1G1, por exemplo sugere que ele monte algum arranjo físico, tipo usando Efeito Doppler ou posicionando alguns sensores no caminho por onde o elevador irá passar.

A6G1 levanta a questão de que O1 poderia determinar que se encontra em um sistema acelerado pois será arremessado contra uma das superfícies do elevador. Ele poderia também abandonar alguma coisa dentro do elevador. Poderia abandonar um pêndulo também e observar

que este começa a oscilar. Todos parecem concordar com essas considerações e o debate avança para a próxima situação sugerida pelo EP.

A4G4 afirma que não tem como O1 diferenciar a situação em que o elevador está pendurado por um cabo no campo gravitacional terrestre da situação em que o ser mítico estava puxando o puxando. Ele complementa afirmando que tudo dentro do elevador se comporta da mesma forma. A5G1 afirma que O1 poderia fazer qualquer dos experimentos sugeridos anteriormente que os resultados seriam os mesmos, então não existe nenhuma diferença entre as duas situações do ponto de vista físico.

A partir do momento que o elevador passa a se mover em queda livre, A1G1 afirma que O1 não sentiria seu próprio peso o que seria equivalente a primeira situação. A1G1 levanta a questão de que se colocássemos uma balança e O1 sobre esta, a balança passaria a indicar peso igual a zero no momento que se iniciasse a queda livre.

#### 6.4.3.2.3 Discussão dos resultados referentes aos episódios de ensino realizados com o grupo G1

Essa seção destina-se a apresentar uma discussão acerca dos resultados obtidos por meio da análise dos materiais escritos aliados a elementos evidenciados nas discussões coletivas. Ao longo desta seção buscaremos fazer inferências e relações entre os resultados, os aspectos metodológicos e a fundamentação teórica do estudo. Alguns dos significados mais centrais e recorrentes evidenciados nas construções dos estudantes serão dispostos em tabelas para melhor visualização.

Uma questão fundamental no estudo do movimento, tanto no âmbito da Física Clássica, como no da Física Moderna, é o sistema de referência em relação ao qual serão realizadas as medições. Nesse sentido, o texto orientador utilizado pelos estudantes para a realização do EP1 levanta essa questão acerca da medição da velocidade da luz.

No intuito de sistematizar as respostas dos estudantes, optamos por separá-las em duas categorias que emergiram dos próprios dados da pesquisa. Essas categorias se deram pelas inter-relações dos significados externalizados pelos estudantes. Ou seja, foram observados elementos comuns tanto nos materiais escritos produzidos pelos estudantes como em suas falas. Esses elementos permitiram a elaboração de tais categorias.

A primeira se refere a consideração feita pelos estudantes de que tal velocidade poderia ser medida em relação a qualquer sistema de referência, desde que este fosse inercial. A outra categoria remete as respostas que deram indícios de que os estudantes estariam inclinados a

aceitar que seja necessário algum tipo de sistema de referência privilegiado para se medir a velocidade da luz. O Quadro 23 apresenta a distribuição dos estudantes de acordo com cada uma das categorias interpretativas descritas.

Quadro 23 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP1.

<b>Referencial em relação ao qual se deve medir a velocidade da luz</b>	
Qualquer referencial inercial	Referencial privilegiado
A1G1, A2G1, A6G1	A3G1, A4G1, A5G1

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

É importante destacar aqui que as respostas enquadradas na primeira categoria (Qualquer referencial inercial) foram claras e explícitas sobre o fato de que a velocidade da luz poderia ser medida em relação a qualquer referencial inercial. Todavia, as respostas dos estudantes enquadradas na segunda categoria (Referencial privilegiado) em certa medida, foram vagas ou mal formuladas, o que acabou resultando que seu enquadramento na categoria foi realizado a partir de uma interpretação sobre seu significado. Por exemplo, A3G1 afirma que poderia ser qualquer referencial inercial, porém este deveria estar “fora”. Na mesma linha A4G1 afirma que seria necessária a existência de um “local fixo”. Já A5G1 afirma que a velocidade da luz deveria ser medida em relação ao “espaço que permeia o Universo”. Por mais que nas respostas os estudantes não apresentaram total clareza sobre algumas afirmações, todos eles atribuíram condições extras para o sistema de referência que deveria ser utilizado, nesse sentido é que enquadrámos essas respostas como as que remetem a necessidade de referencial privilegiado.

Nesse caso, é incoerente dizer que para as respostas que estão incompletas ou não estão de acordo com o que é aceito na ciência a aprendizagem não foi significativa, pois como menciona Pozo (1998), os conceitos são as unidades básicas do significado e sem a compreensão conceitual os significados produzidos têm uma grande chance de serem equivocados. Nesse sentido, destacamos que essa incoerência pode estar relacionada ao fato de que por meio do teste inicial somente A1G1 respondeu de forma “correta” a questão número 4 que lidava com uma situação semelhante (situação relativística), e também se evidenciou algumas respostas incompletas para a questão 1. Essas observações vão de encontro ao fato de que, segundo Moreira (1999), a aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem correta. Nesses casos, de inconsistência conceitual, é importante frisar que foram fundamentais os momentos de discussões coletivas, onde por meio de problematizações e com a mediação do professor foram trazidas à tona as interpretações coerentes com aquilo que é aceito na comunidade científica.

Embora exista uma certa polemica em relação a formulação original do EP apresentada por Einstein, como mencionado no item 3.2.2 do capítulo 3, o fato é que é possível levantar uma situação aparentemente paradoxal por meio do EP da “Perseguição do feixe de luz”. Essa situação paradoxal pode ser verificada de diferentes maneiras, a mais formal se dá pela aplicação da Lei de Faraday-Lenz e da Lei de Ampere a situação em que o sistema de referência utilizado se move juntamente e com a mesma velocidade do feixe luminoso. Todavia, a percepção dessa aparente contradição pode ser verificada ainda sem necessariamente aplicar essas equações, somente verificando que para tal situação teríamos campos variáveis espacialmente, porém estáticos no tempo. De acordo com as Leis de Maxwell tal situação não caracteriza uma onda eletromagnética. Partindo do pressuposto da importância da definição do comportamento dos campos para um sistema que se mova juntamente com o feixe luminoso organizamos as respostas dos estudantes em um quadro (Quadro 24). As categorias apresentadas foram obtidas pelas respostas dos estudantes, onde alguns destes responderam que os campos seriam estáticos tanto espacialmente como temporalmente e outros que seriam estáticos no tempo, porém variáveis espacialmente.

Quadro 24 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP1.

<b>Comportamento dos campos elétrico e magnético</b>	
Estáticos espacialmente e temporalmente	Variáveis espacialmente e estáticos temporalmente
A1G1, A2G1, A3G1, A6G1	A4G1, A5G1

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Nas respostas dos estudantes, percebemos que a maioria afirmou que os campos seriam estáticos tanto no tempo como no espaço. Talvez essas respostas estejam atreladas a falta de clareza ou de atenção no momento de formular a situação. Essa falta de clareza foi verificada no momento de discussões coletivas, onde foi possível perceber que muitos estudantes não haviam pensado nesse aspecto ou não tinham certeza qual era a diferença entre estáticos espacialmente e temporalmente.

Conforme já mencionado, por meio da realização deste EP é possível intuir a aparente incompatibilidade entre o Princípio da Relatividade e a Teoria Eletromagnética de Maxwell. No Quadro 25 listamos os participantes que mencionaram de forma explícita essa incompatibilidade.

Quadro 25 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP1.

<b>Incompatibilidade entre o princípio da relatividade e as leis de Maxwell</b>		
O EP leva a essa aparente incompatibilidade	O EP não leva a essa aparente incompatibilidade	Não respondeu
A1G1, A2G1, A5G1, A6G1	A3	A4



Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Por meio das respostas dos estudantes, percebemos que a maioria (4:6), ou seja, cerca de 66% dos participantes do estudo, mencionaram em suas construções escritas a existência dessa incompatibilidade. Em sua maioria eles trazem inclusive considerações sobre como se dá essa incompatibilidade. Por exemplo, A1G1 menciona que segundo o eletromagnetismo a luz é uma onda eletromagnética onde o campo magnético precisa ter variação temporal, porém ao aplicarmos as ideias da Física Clássica mudando de referencial isso parece não funcionar. Claramente se percebe que A1G1 está se referindo a Lei de Faraday-Lenz, onde o lado direito da igualdade se constituiu de uma derivada do fluxo magnético em função do tempo no sentido negativo, ou contrário.

Nesse sentido, segundo a TAS uma tarefa de aprendizagem deve também explorar as relações existentes entre conceitos e proposições, no sentido de identificar, diferenças, similaridades e/ou inconsistências, reconciliando-as no processo de aprendizagem. A essa recombinação de elementos na estrutura cognitiva Ausubel dá o nome de reconciliação integrativa (MOREIRA; MASINI, 2001). Nesse sentido, podemos inferir que a atividade promoveu a reconciliação integrativa.

No que diz respeito ao EP2 foram feitas várias considerações por parte dos estudantes participantes do estudo, todavia, elencamos as ideias centrais e dispomos nos quadros a seguir. No Quadro 26 estão listados os estudantes que estabeleceram em suas produções a equivalência entre as situações propostas no EP2. Separamos em dois grupos, aqueles que estabeleceram a equivalência entre um sistema acelerado e um campo gravitacional e aqueles que estabeleceram a equivalência entre o ambiente de gravidade zero e a situação de queda livre. Como podemos observar no Quadro 26 muitos aparecem enquadrados nos dois grupos, isso ocorreu em virtude de esses estudantes estabeleceram as duas equivalências em suas produções escritas.

Quadro 26 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP2.

<b>Princípio da equivalência</b>	
Equivalência entre um sistema acelerado e um campo gravitacional	Equivalência entre um ambiente de gravidade zero e um movimento de queda livre
A1G1, A3G1, A4G1, A6G1	A1G1, A4G1, A5G1, A6G1

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Como é possível observar no Quadro 26, três (3:6), ou seja, 50%, dos participantes do estudo estabeleceram as duas equivalências. Ao passo que um estabeleceu somente a equivalência entre um sistema acelerado e um campo gravitacional e um somente entre o

ambiente de gravidade zero e o movimento em queda livre. Um dos estudantes, no caso A2G1, não estabelece nenhuma das equivalências possíveis de serem evidenciadas por meio do EP2.

Nota-se que em sua grande maioria os estudantes conseguiram perceber as equivalências sugeridas pelo EP. Esse resultado se aproxima do obtido por Velentzas e Halkia (2013) onde os autores afirmam que a maioria (32/34) dos estudantes foram capazes de prever que o elevador acelerado “imita” a gravidade.

Outro significado relevante que foi evidenciado durante a análise dos dados diz respeito a diferenciação entre um referencial inercial e outro não inercial. Esse entendimento é de fundamental importância tanto no âmbito da Física Clássica como no âmbito da Física Moderna. Elencamos três ideias centrais que apareceram nos materiais escritos dos estudantes, à saber: existência ou não de aceleração, efeitos observáveis em experimentos e força fictícia. Na primeira categoria enquadrados aqueles estudantes que mencionaram de forma direta o fato de que a diferença entre um referencial inercial e outro não inercial está no fato de que primeiro não possui aceleração e o segundo sim. A segunda e a terceira categoria se confundem em certa medida, visto que a chamada “força fictícia” que surge em sistemas acelerados é também um efeito observável por meio de experimentos, todavia o critério que utilizamos foi de classificar nessa terceira categoria somente as respostas que explicitassem de forma direta o conceito de força fictícia, deixando para a outra categoria as respostas que apenas mencionassem que seria possível verificar os efeitos do movimento por meio de qualquer tipo de experimento que se realizasse, sem necessariamente utilizar o conceito de força fictícia. Os resultados da análise das produções escritas realizadas pelos estudantes se encontra no Quadro 27.

Quadro 27 - Significados identificados para o grupo G1 durante a realização do EP2.

<b>Diferenças entre um referencial inercial e outro não inercial</b>		
Existência ou não de aceleração	Efeitos observáveis em experimentos	Força fictícia
A1G1, A3G1	A1G1, A3G1, A4G1, A5G1, A6G1	A3G1, A5G1, A6G1

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Novamente algumas respostas foram enquadradas em mais de uma categoria, pelo fato de os textos dos estudantes apresentarem vários elementos. No que diz respeito a primeira categoria apenas dois estudantes (2:6), cerca 33%, mencionaram de forma explícita e direta que a diferença entre um referencial inercial e outro não inercial é a aceleração. A maioria dos estudantes (5:6), cerca de 83%, mencionou que a aceleração geraria efeitos observáveis por meio de experimentos, eles sugeriram a utilização de pêndulos, piões e movimento em queda livre no interior do elevador para verificar seu estado de movimento.

Três estudantes (3:6), ou seja, 50%, utilizou de alguma forma o conceito de força fictícia ou força inercial. Eles não utilizaram exatamente nenhum desses termos, mas mencionaram um “puxão” ou “solavanco” que seria sentido pelo observador quando o sistema deixasse de ser inercial.

De acordo com os resultados obtidos no teste inicial, os estudantes em sua grande maioria possuíam o conceito de como se caracteriza um referencial inercial. Percebeu-se por meio da análise dos dados que durante a realização dos EPs os fenômenos relacionados a um referencial inercial e outro não inercial foram se mostrando mais elaborados e diferenciados. Destacamos que o processo de resolução de problemas sugerido fez com que os conhecimentos prévios dos estudantes fossem mobilizados e melhor diferenciados o que está em consonância com o que afirmam Ausubel, Novak e Hanesian (1983), de que durante a tarefa de resolução de problemas o movimento cognitivo ocorre a fim de que o conhecimento existente e já significativo na estrutura cognitiva do aprendiz se adapte às demandas de uma meta específica ou de uma relação de meios e fins.

## **6.5 Resultados obtidos no estudo – Grupo 2**

Nesta seção serão apresentados e analisados os dados obtidos com o grupo G2 que se constitui por estudantes matriculados no componente curricular Física Moderna II, no segundo semestre de 2019. Na sequência serão descritas as atividades e analisados os resultados obtidos com esse grupo.

### *6.5.1 Experimentos de Pensamento selecionados para o estudo*

O componente Física Moderna II ocorre no oitavo e último semestre do curso de Física Licenciatura<sup>19</sup>. Um dos pré-requisitos para essa disciplina é a de Física Moderna I que ocorre no semestre anterior. Em Física Moderna I são trabalhados conteúdos referentes a Teoria da Relatividade Restrita, efeito fotoelétrico, Lei de Planck e efeito Compton. A disciplina de Física Moderna II inicia com algumas reflexões acerca dos modelos atômicos ao longo da história da ciência, culminando nos modelos de Thomson e no de Rutherford-Bohr. A partir do modelo de Bohr começam a ser apresentados os modelos e princípios referentes a mecânica quântica, culminando na equação de Schrödinger e suas aplicações. Também são discutidos elementos relacionados ao modelo padrão das partículas elementares e Física Nuclear. Nesse sentido,

---

<sup>19</sup> Essa disposição refere-se ao currículo 4503 do curso de Física-L da Universidade de Passo Fundo, RS.

atrelados ao conteúdo programático da disciplina, foram selecionados os EPs a serem aplicados com o grupo G2.

O primeiro EP selecionado trata-se do “Microscópio de raios gama de Heisenberg”. Em meados da década de 1920, Werner Heisenberg formulou o Princípio da Incerteza durante os primeiros passos do que conhecemos hoje como Mecânica Quântica. Para ilustrar esse princípio ele sugeriu um EP que consiste em levantar a possibilidade de detectar uma partícula pontual, como um elétron. A detecção deveria ser realizada com a maior precisão possível utilizando-se um microscópio de raios gama. No Quadro 28 apresentamos o texto orientador entregue para os estudantes realizarem o EP.

Quadro 28 - Texto de apoio para a realização do EP1.

### EP1: MICROSCÓPIO DE RAIOS GAMA DE HEISENBERG

Utilizando as informações fornecidas desenvolva o experimento de pensamento buscando solucionar os problemas levantados. Todo o andamento do experimento deve ser relatado na folha em anexo, esse relato deve conter o maior número de informações possíveis, tais como, texto, desenhos, diagramas, gráficos, cálculos, etc.

#### 1 Apresentação da atividade

Na década de 1920, nos primeiros passos da mecânica quântica, Werner Heisenberg formulou um princípio de fundamental importância no desenvolvimento da teoria quântica. Para ilustrar seu princípio, Heisenberg sugere a realização de um celebre e influente experimento de pensamento conhecido como o Microscópio de Raios Gama. O experimento consiste em teorizar a possibilidade de detectar (com a maior precisão possível) a posição de uma partícula pontual, como um elétron. Para “ver” (detectar) um elétron é necessário “iluminá-lo” com algum tipo de radiação, no caso os raios gama. A medição da posição do elétron constituiu-se pela detecção dos raios gama espalhados por ele.

#### 2 Formulação do problema

A figura abaixo é um esquema ilustrativo do experimento de pensamento referente ao microscópio de raios gama. Considere a lente a uma distância  $d$  do elétron, e que a sua abertura angular seja  $\theta$ . Por simplicidade em nosso experimento vamos considerar inicialmente somente uma dimensão ( $x$ ). Destacamos que existe um limite quando se observa um objeto pontual por meio de uma lente, ou seja, uma incerteza sobre sua posição exata. Esse limite é definido pela óptica geométrica pelo poder de resolução do microscópio, em outras palavras o poder de resolução define a dificuldade em se poder afirmar com certeza se o elétron está “aqui ou ali”. O poder de resolução do microscópio pode ser obtido por meio da equação 1.

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\sin\theta}$$

equação 1

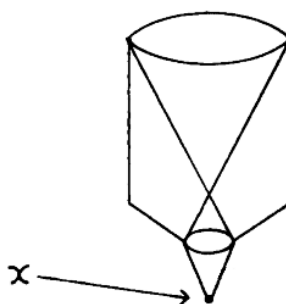


Figura 1 - extraída da obra “The Laboratory of the Mind”, de James Robert Brown.

**1º PROBLEMA:** É possível, de alguma forma, ter absoluta certeza sobre a posição do elétron? Como se poderia diminuir a incerteza na posição do elétron utilizando o microscópio de raios gama? O que significa medir a posição do elétron em nosso experimento?

Ponderamos agora que nesse experimento por mais que se diminua a intensidade da fonte de radiação pelo menos um fóton deve ser espalhado pelo elétron para que ele possa ser detectado. Vamos considerar que o experimento será realizado nessas condições, ou seja, que a fonte emita apenas um fóton por vez, que em seguida é espalhado pelo elétron, esse regime é chamado de monofotônico. Devido ao espalhamento o elétron recua em uma certa quantidade de acordo com o efeito Compton. A variação do momento do elétron  $\Delta p_x$  é igual a variação do momento do fóton. Como a direção inicial (anterior ao espalhamento) do fóton não é conhecida, a direção após o espalhamento também não pode ser determinada com certeza. Nesse sentido, o fóton pode ter uma variação de seu momento na coordenada x desde  $-\psi \sin \theta$  até  $+\psi \sin \theta$ , ou seja, a variação total é de  $\Delta p_x = 2\psi \sin \theta$ .

**2º PROBLEMA:** Baseado no exposto defina a incerteza na coordenada x do momento do elétron espalhado e calcule o produto entre a incerteza da posição  $\Delta x$  (definida no problema anterior) e do momento  $\Delta p_x$ . Como se poderia diminuir a incerteza no momento do elétron utilizando o microscópio de raios gama? Seria possível reduzir infinitamente e simultaneamente a incerteza do momento e da posição do elétron?

#### Questões para fechamento

1. O resultado matemático obtido na realização desse experimento de pensamento (resultado final da equação obtida por meio da solução do 2º problema) se aproxima do princípio de Heisenberg? Como?
2. É possível formular o princípio da incerteza de Heisenberg (com devidas considerações e aproximações) por meio da realização do experimento de pensamento aqui sugerido?
3. Com base no princípio da incerteza, se tivéssemos um aparelho com uma resolução suficientemente boa seria possível reduzir simultaneamente para valores muito pequenos a incerteza na posição e no momento do elétron? Justifique.
4. Que implicações o princípio da incerteza de Heisenberg traz para a forma como interpretamos o mundo físico?

Fonte: Autor, 2019.

A ideia foi realizar essa atividade com os estudantes num momento anterior em que se iria trabalhar o Princípio de Incerteza de Heisenberg. Ou seja, o intuito foi de que funcionasse como um experimento introdutório, onde os estudantes poderiam construir seus primeiros significados acerca do conteúdo. A formulação mais precisa, assim como as aplicações e consequências mais amplas desse princípio foram trabalhadas com a turma na sequência das aulas do componente curricular.

O segundo EP selecionado foi o sugerido por Erwin Schrödinger por volta de 1935 com o intuito de ilustrar outro princípio fundamental da mecânica quântica, no caso o princípio de superposição. O EP em questão é o que ficou conhecido como “Gato de Schrödinger”. O experimento consiste em aprisionar um gato em uma caixa totalmente isolado do meio externo. No interior de uma caixa existe uma substância radiativa que possui a probabilidade de 50% de decair e 50% de não decair durante a realização da experiência. Um contador Geiger é acionado se o elemento decair, liberando veneno no interior da caixa, matando o gato, porém, se o

elemento não decair o veneno não é liberado e o gato sobrevive. A questão central do experimento consiste em definir se o gato está vivo ou morto, sem abrir a caixa e, posteriormente, abrindo-a. Esse EP é classificado por Brown (1991) como destrutivo, mas não por evidenciar algo inconsistente ou incorreto na Mecânica Quântica e sim por demonstrar como pode parecer aparentemente contraditório e contra intuitivo o Princípio de Superposição da Mecânica Quântica ao ser levado ao limite macroscópico. No Quadro 29 apresentamos o texto orientador entregue para os estudantes realizarem o EP.

Quadro 29 - Texto de apoio para a realização do EP2.

**EP2: GATO DE SCHRÖDINGER**

**1 Apresentação da atividade**

Para ilustrar um dos princípios fundamentais da mecânica quântica, na década de 1930 o físico austríaco Erwin Schrödinger propôs um experimento de pensamento que se tornou famoso na comunidade científica e fora dela. Trata-se do experimento de pensamento do “Gato de Schrödinger”. O experimento consiste em colocar um gato aprisionado em uma caixa, totalmente isolado do meio externo. No interior da caixa é colocada uma substância radioativa, que possui a probabilidade de decair, mas também de não decair, em uma situação idealizada poderíamos afirmar que existe 50% de probabilidade de ocorrer o decaimento e 50% de não ocorrer durante a realização da experiência. Se ocorrer o decaimento um contador Geiger acionará um dispositivo que liberará veneno dentro da caixa matando o gato, porém se não ocorrer o decaimento o dispositivo não libera o veneno e o gato sobrevive.

**2 Formulação do problema**

Considerando a situação descrita apresente a solução dos problemas propostos. Todo o andamento do experimento de pensamento deve ser relatado na folha em anexo, esse relato deve conter o maior número de informações possíveis, tais como, texto, desenhos, diagramas, gráficos, cálculos, etc.

**1º Problema:** Considerando que com a caixa fechada não existe nenhuma interação entre um observador externo e seu interior, nesse caso, é possível este definir em qual dos estados (vivo ou morto) o gato se encontra?

**2º Problema:** Qual é a consideração que o observador externo poderá fazer sobre o estado do gato sem abrir a caixa?

**3º Problema:** O que acontecerá se o observador abrir a caixa? Ou seja, como ficaria a definição acerca do estado do gato?

Fonte: Autor, 2019.

Esse EP foi desenvolvido com o segundo grupo de estudantes – G2, seguindo a sequência do conteúdo programático do componente curricular Física Moderna I. Sua aplicação ocorreu após ter sido deduzido a equação de Schrödinger e, conseqüentemente, discutidos seus fundamentos e algumas de suas aplicações. Nesse sentido, o objetivo foi que os estudantes ao se confrontarem com a problemática sugerida pelo EP pudessem construir o significado referente ao Princípio de Superposição de estados quânticos.

### 6.5.2 Atividades realizadas nos encontros

A atividade com o grupo G2 foi realizada no segundo semestre de 2019, paralelamente a desenvolvida com o grupo G1. Procedemos com G2 da mesma forma que com G1, ou seja, utilizamos durante os encontros uma câmera para gravar áudio e vídeo durante a realização das atividades envolvendo os EPs.

No primeiro encontro inicialmente foi apresentada e discutida a proposta, assim como os estudantes assinaram o TCLE. Na sequência foi realizada, de forma expositiva, uma breve apresentação sobre o entendimento acerca dos EPs presentes na literatura. Após essa conversa inicial foi aplicado o teste inicial (APÊNDICE C) que teve essencialmente como objetivo buscar por possíveis conhecimentos prévios dos estudantes.

No segundo encontro foi realizada a aplicação do EP1, nesse caso o do “microscópio de raios gama”. O terceiro encontro foi destinado a aplicação do EP2, “Gato de Schrödinger”. Ao término de cada atividade relacionada aos EPs foi realizada uma discussão coletiva, onde cada estudante deveria expor suas construções e seus resultados.

### 6.5.3 Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos junto ao grupo G2, iniciando pela apresentação dos resultados do teste inicial, seguidos dos resultados dos dois episódios de ensino envolvendo os EPs.

#### 6.5.3.1 Teste inicial: buscando por possíveis subsunçores

Partindo do pressuposto da TAS de que o fator mais importante para a ocorrência da aprendizagem significativa é aquilo que o aprendiz já sabe, analisaremos inicialmente os resultados do teste inicial. Esse teste foi organizado na forma de questionário (APÊNDICE C), contendo 6 questões, todas abertas e dissertativas. Optamos por dispor os resultados da análise em tabelas contendo os significados identificados a partir das respostas dos estudantes. Em alguns casos, aliado a apresentação das tabelas, foi necessária uma discussão mais aberta sobre as respostas dos estudantes.

A primeira questão versa sobre os tipos de radiação existentes segundo as leis da Física. Pontua-se que esse conhecimento se mostra necessário na realização do primeiro EP, visto que se trata de um microscópio que utilizará raios gama, nesse sentido julgamos pertinente que o

estudante tenha clareza do que se trata a radiação gama e quais os outros tipos de radiação existentes.

Os dados evidenciados a partir da análise das respostas dos estudantes estão dispostos no Quadro 30.

Quadro 30 - Significados identificados na questão número 1.

<b>Questão número 1: Quais são os tipos de radiação existentes?</b>	
<b>A1</b>	Radiação eletromagnética, alpha e beta.
<b>A2</b>	No espectro, toda luz é radiação.
<b>A3</b>	Radiação eletromagnética, térmica, alpha, beta e gama.
<b>A4</b>	Energia.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Percebemos determinada heterogeneidade nas respostas dos estudantes, o que nos leva a interpretar que o conceito moderno de radiação não está bem claro e não é unânime. Nesse sentido, para a aula em que foi aplicado o EP do microscópio de raios gama foi preparada uma breve discussão sobre os tipos de radiação existentes e o que seria a radiação gama dentro desse contexto.

O experimento do microscópio de raios gama exige em certo momento que os estudantes construam algumas equações. Tendo o conhecimento de que todas as equações já haviam sido trabalhadas na disciplina em momentos anteriores a aplicação da atividade, todavia, mesmo assim, julgamos que seria pertinente avaliar o conhecimento dos estudantes sobre essas equações.

Como a questão solicitava que o estudante escrevesse a equação apenas, organizamos o Quadro 31 de forma que apenas informamos quem conseguiu ou não realizar a tarefa. Como nenhum dos estudantes respondeu de forma incorreta a questão, e sim, apenas alguns responderam e outros não, optamos por apresentar os dados de forma a informar quem respondeu e quem não respondeu à questão.

Quadro 31 - Significados identificados na questão número 2.

<b>Questão número 2: O momento linear do elétron é dado pela sua massa, velocidade e um fator, chamado fator de Lorentz. Um fóton, por mais que não possua massa, também possui momento linear. Escreva a equação do momento linear do elétron e do fóton.</b>	
<b>A1</b>	Respondeu corretamente para o fóton e o elétron.
<b>A2</b>	Respondeu corretamente somente para o fóton.
<b>A3</b>	Respondeu corretamente para o fóton e o elétron.
<b>A4</b>	Não respondeu.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.



Com exceção de A2G2, que respondeu somente para o fóton, e A4G2 que não respondeu para nenhum deles, os demais estudantes responderam de forma satisfatória a questão. Lembramos que para a resolução do questionário os estudantes trabalharam individualmente e sem consulta a nenhum tipo de materiais. Nesse sentido, os que não responderam podem ter sido decorrência do esquecimento das equações, por exemplo, A4G2 afirmou oralmente que lembrava do conceito e da explicação do fenômeno, mas que não conseguia lembrar da equação naquele momento.

O efeito Compton foi trabalhado exaustivamente com a turma no início do semestre e, nesse sentido, esperávamos que o grupo possuísse certo conhecimento sobre o assunto. Este conhecimento se mostra importante pois no andamento do EP do microscópio de raios gama é necessário que se leve em consideração tal efeito, com esse objetivo foi elaborada a questão número 3.

Os dados referentes aos significados identificados por meio da análise das respostas dos estudantes se encontram dispostos no Quadro 32.

Quadro 32 - Significados identificados na questão número 3.

<b>Questão número 3:</b> Descreva o que você entende por efeito Compton.	
<b>A1</b>	De modo simples e utilizando um conceito da Física Clássica, trata-se de uma colisão elástica entre um fóton e um elétron, onde à uma transferência de energia e quantidade de movimento do fóton para o elétron.
<b>A2</b>	O fóton perde energia ao colidir com um elétron.
<b>A3</b>	Varição no comprimento de onda de um fóton após a colisão com um elétron.
<b>A4</b>	Varição na energia de um fóton após a colisão com um elétron.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

De forma geral, variando um pouco na abordagem e completude, podemos dizer que todas as respostas dos estudantes foram corretas e satisfatórias. Independente da incompletude de algumas respostas pôde-se perceber que os acadêmicos sabiam do que se tratava o efeito Compton.

A questão número quatro foi elaborada com o intuito de evidenciar se os estudantes possuíam bem estabelecido o significado de superposição. A ideia não era verificar se eles tinham conhecimento acerca do princípio de superposição no âmbito da mecânica quântica, e sim qual era o significado genérico de superposição que eles apresentariam.

Os dados referentes aos significados evidenciados por meio da análise das respostas dos estudantes se encontram dispostos no Quadro 33.

Quadro 33 - Significados identificados na questão número 4.

<b>Questão número 4:</b> Em Física o que significa superposição? Responda e dê um exemplo de superposição na Física.		
	Em Física o que significa superposição?	Exemplos de superposição
<b>A1</b>	A soma de dois estados que resulta em um terceiro que é o resultado dessa soma e caracteriza o sistema.	Interferência entre duas ondas.
<b>A2</b>	Quando duas “coisas” se juntam.	Interferência entre duas ondas.
<b>A3</b>	Dois ou mais estados se misturam em um só.	Superposição de ondas.
<b>A4</b>	Duas “coisas” que ocupam a mesma posição no espaço.	Não deu nenhum exemplo.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A resposta de A1G2 é a mais adequada com relação a definição moderna aceita sobre o conceito de superposição. Todavia, nenhuma das outras respostas está totalmente incorreta, apenas possuem diferentes graus de formalização e o uso de alguns termos pode parecer descuidado, como duas “coisas” que ocupam o mesmo lugar no espaço.

Como a ideia do EP do gato de Schrödinger é de se chegar ao princípio de superposição, a ideia de probabilidade é fundamental. Isso porque a superposição é dada formalmente pela soma de dois possíveis estados que se caracterizam pela probabilidade do sistema assumir determinada configuração. Nesse sentido, a questão número 5 traz um evento relacionado a Física Clássica, mas que remete a ideia de probabilidade.

Os dados referentes aos significados evidenciados por meio da análise das respostas dos estudantes se encontram dispostos no Quadro 34.

Quadro 34 - Significados identificados na questão número 5.

<b>Questão número 5:</b> Muitas vezes para resolver alguma “disputa” se “tira” cara ou coroa. A ideia é lançar uma moeda verticalmente para cima apanhando-a quando retorna a sua mão, observando qual das faces da moeda caiu voltada para cima. Discuta o que embasa matematicamente esse “jogo”.		
<b>A1</b>	A probabilidade em dar cara ou coroa é igual.	
<b>A2</b>	Probabilidade de 50% de dar cara e 50% coroa.	
<b>A3</b>	Desprezando qualquer fator que possa induzir qual face da moeda caia virada para cima, a probabilidade em condições ideais é de 50% para cada face da moeda.	
<b>A4</b>	Probabilidade.	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Analisando os dados, percebe-se que de forma unanime os participantes da pesquisa responderam de forma correta. Todavia, alguns trouxeram mais detalhes para a análise, como, por exemplo, A3G2 que levanta argumentos sobre possíveis fatores que poderiam influenciar, ou viciar, o jogo.

A questão número 6 trata-se de uma situação problema onde o principal objetivo foi de evidenciar se os participantes do estudo tinham clareza acerca dos conceitos de precisão, exatidão, desvio-padrão e incerteza.

Os dados referentes aos significados evidenciados por meio da análise das respostas dos estudantes se encontram dispostos no Quadro 35.

Quadro 35 - Significados identificados na questão número 6.

<b>Questão número 6:</b> A massa específica da água consiste na razão da massa pelo volume de uma certa amostra de água. Um estudante de Física resolve determinar experimentalmente a massa específica da água. Qual o procedimento ele pode adotar para obter maior credibilidade na sua medida?		
	<b>Como aumentar a credibilidade da medida?</b>	<b>Limites para a precisão.</b>
<b>A1</b>	Para aumentar a precisão o estudante poderia repetir várias vezes o experimento com diferentes volumes de água.	Na Física Clássica o limite é definido pela imprecisão dos instrumentos, já na mecânica quântica pelo princípio da incerteza.
<b>A2</b>	Manter a água em um ambiente com pressão normal e temperatura de 40°C, pois essas são as condições em que a água é mais densa.	Não respondeu.
<b>A3</b>	Levar em consideração o maior número possível de variáveis e repetir o teste o maior número possível de vezes.	Tanto na Física Clássica, como na moderna o limite de precisão está relacionado aos instrumentos de medida e ao número de vezes que se realiza o experimento.
<b>A4</b>	Deve levar em consideração o erro humano e se a substância é pura, realizando o experimento o maior número de vezes possível.	Tanto a Física Clássica como a moderna nunca serão completamente precisas.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

O problema sugerido leva em consideração que qualquer dado empírico, mesmo no âmbito da Física Clássica deve ser obtido levando em consideração fatores como a resolução e sensibilidade dos instrumentos de medida e a precisão das medidas obtidas. Essas considerações devem levar o estudante a considerar que mesmo na Física Clássica existem limites de incerteza em valores obtidos experimentalmente, todavia, o princípio de incerteza de Heisenberg impõe um limite de natureza bastante distinta ao limite clássico.

A definição mais formal de precisão está relacionada ao desvio-padrão de várias medidas. Assim, aponta-se que ao analisar as respostas dos estudantes, em alguns momentos eles usam o termo precisão, mas na verdade estão tentando se referir a outra coisa. Por exemplo, A1G2 afirma que o limite é definido pela imprecisão dos instrumentos, na verdade o que parece é que ele está tentando se referir a sensibilidade ou a resolução dos instrumentos e não a precisão.

Tomando como ponto de partida os dados sistematizados a partir da análise dos dados do teste inicial estruturamos os episódios envolvendo os EPs. Destacamos que por mais que se observaram algumas incompletudes nos conhecimentos prévios dos estudantes, entendemos que estes possuíam os conhecimentos minimamente necessários para a realização dos EPs selecionados para o estudo. Destacamos também que muitas das condições iniciais colocadas oralmente no momento da apresentação dos EPs para os estudantes continham informações e

discussões que levavam em conta as lacunas conceituais evidenciadas por meio do teste inicial. Todavia, interpretamos essas lacunas como muito pontuais e descartamos a necessidade de se utilizar um organizador prévio.

### 6.5.3.2 Análise dos episódios de ensino

Nesse item analisaremos a construção dos significados durante a realização dos EPs individualmente para cada estudante do grupo G2, a exemplo do que fizemos para os estudantes do G1. Inicialmente apresentaremos os dados correspondentes aos materiais escritos produzidos pelos estudantes, na sequência são apresentados os dados obtidos a partir das videograções. Por fim, procedemos a discussão dos resultados buscando fazer inferências e verificar inter-relações entre os resultados obtidos e os pressupostos teóricos do estudo.

#### 6.5.3.2.1 Dados referentes aos materiais escritos produzidos pelos estudantes

Na sequência apresentamos os resultados obtidos por meio da análise dos materiais escritos produzidos pelos estudantes durante a realização dos EPs. Optamos por apresentar os resultados dos dois EPs para cada acadêmico participante do estudo, seguindo com a hierarquização dos significados em consonância com o referencial teórico adotado, ou seja, classificamos os significados produzidos pelos estudantes de acordo com o grau de subordinação dos mesmos.

No que diz respeito a aprendizagem subordinada, consideramos os significados produzidos pelos estudantes que pudessem ser relacionados ao conceito geral de incerteza. Ou seja, existe na Física uma concepção genérica de incerteza, que não necessariamente está associada ao princípio de incerteza de Heisenberg, significado a ser construído durante a realização do EP1. Nesse sentido, classificamos como subordinados os significados mais específicos que pudessem ser relacionados ao significado mais geral e inclusivo de incerteza. Como superordenados classificamos os significados mais gerais que se relacionavam com conhecimentos específicos da estrutura cognitiva dos estudantes, estes associados a relação de incerteza existente entre duas grandezas físicas. Por exemplo, a ideia de que se diminuirmos a incerteza no momento aumentamos a incerteza na posição. Essa conclusão muitas vezes esteve associada a relações com conhecimentos específicos existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, como, por exemplo: aos processos de medição em si, ao efeito Compton, entre outros. Para a aprendizagem combinatória classificamos os significados que se relacionaram

com a estrutura cognitiva de forma mais geral, no caso os relacionados aos conceitos de exatidão, precisão e incerteza.

Para o EP2 consideramos como subordinados os significados relacionados ao conceito de superposição. Ou seja, entendemos que a ideia de superposição é algo geral na Física, sendo que existem muitos exemplos de sistemas superpostos que não necessariamente estão relacionados ao princípio de superposição da mecânica quântica. Para a aprendizagem superordenada consideramos os significados mais gerais construídos pelos estudantes e que pudessem ser relacionados as ideias específicas associadas a possibilidade de se definir o estado de um sistema físico. A aprendizagem combinatória ocorre quando o novo significado se relaciona com a estrutura cognitiva de forma mais ampla, nesse sentido, classificamos para esse tipo de aprendizagem os conhecimentos associados a relação entre medição, observação, incerteza e probabilidade.

Destacamos que no processo de hierarquização (quadros apresentados individualmente para cada estudante) foram dispostos tanto significados coerentes com as leis da Física vigentes assim como aqueles equivocados. Destacamos também que, assim como realizado com o grupo 1, foram realizadas inferências por parte do professor/pesquisador sempre que necessário e possível, quando identificadas essas inconsistências na abordagem dos estudantes. Essas inferências tinham o objetivo de fomentar o debate para aumentar as chances de que os estudantes chegassem ao entendimento das situações a partir das leis aceitas no meio científico, mas obviamente de forma significativa.

### **EP1 por A1G2**

No que diz respeito ao primeiro problema A1G2 afirma que  $\Delta x$  nunca pode ser zero, visto que  $\lambda$  não pode ser zero e  $\sin\theta$  tem seu valor máximo igual a 1, no caso para o ângulo de  $90^\circ$ . Segundo ele para diminuir a incerteza na posição do elétron pode-se diminuir  $\lambda$  e/ou aumentar  $\sin\theta$ , porém existe um limite para isso, como já mencionado.

No que diz respeito ao segundo problema levantado, A1G2 inicialmente realizou de forma correta a dedução da equação proposta, como se pode observar na Figura 38.

Figura 38 - Representação de A1G2 para o EP1.

The image shows four handwritten mathematical equations arranged in a 2x2 grid. The top-left equation is  $\Delta x \cdot \Delta p = \frac{\lambda}{\text{seno}} \cdot 2p \text{ seno} = 2\lambda p$ . The top-right equation is  $p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c}$ . The bottom-left equation is  $\Delta x \cdot \Delta p = \frac{hf}{c} \cdot \frac{c}{f} \cdot 2 = 2h$ . The bottom-right equation is  $\lambda \cdot f = c \rightarrow \lambda = \frac{c}{f}$ .

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Na sequência A1G2 afirma que seria impossível reduzir indefinidamente a incerteza na posição do elétron, visto que esta depende de uma constante, no caso  $2h$ . No que diz respeito a reduzir significativamente de forma simultânea a incerteza da posição e do momento, ele afirma que também seria impossível, visto que o lado esquerdo da igualdade é um produto entre  $\Delta x$  e  $\Delta p$ . Compreende ele que, nesse caso específico, ao diminuir um dos valores o outro deveria aumentar para manter a igualdade. Nesse sentido, ao final de suas considerações A1G2 afirma que “[...] é impossível conhecer com precisão a posição e o momento do elétron simultaneamente”.

Com essa afirmação A1G2 utiliza duas concepções distintas, o termo precisão e a ideia de que é impossível “conhecer” a posição e o momento. Sobre o termo precisão cabe ressaltar que sua definição mais rigorosa está relacionada ao desvio-padrão de várias medidas. Todavia, no resto das afirmações de A1G2 ele parece atrelar a relação de incerteza entre posição e momento somente ao resultado matemático obtido pela dedução da equação da Figura 38. Destacamos que A1G2 não faz menção em suas considerações ao processo de medição em si, e sim somente a impossibilidade de se conhecer a posição e o momento com precisão simultaneamente.

### EP2 por A1G2

Segundo A1G2 com a caixa fechada não se pode definir qual é o estado do gato pelo fato de não ser possível realizar nenhuma observação no que diz respeito aos eventos internos da caixa. Segundo ele sem observar o evento é impossível definir o estado, que nesse caso é de 50% de probabilidade de ele estar vivo e 50% de estar morto, o que faz com que haja uma incerteza no “real estado” do gato. Sobre qual é a consideração que um observador externo pode

fazer sobre o estado do gato, A1G2 afirma que: “O observador vai dizer que o gato está vivo ou morto, ele está vivo e morto, mas na verdade ele está em apenas um estado que não pode ser definido pois não foi observado”.

Nesse sentido, antes de observar em que estado o gato se encontra, A1G2 afirma que o gato está em um estado de superposição, no caso, vivo e morto. Todavia, isso só acontece pelo fato do observador não poder “ver” em que estado o gato se encontra.

De acordo com as considerações de A1G2 ao abrimos a caixa descobrimos se o gato está vivo ou morto, segundo ele: “O estado está “definido”, mas nesse experimento ele já estava definido, só era desconhecido”.

### Hierarquização dos significados construídos por A1G2

O Quadro 36 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A1G2 durante a realização dos EPs.

Quadro 36 - Hierarquização dos significados construídos por A1G2.

A1G2				
EP1	Subordinadas	Incerteza	Não é possível diminuir indefinidamente a incerteza na posição do elétron.	Ao diminuirmos o valor de uma das incertezas o outro deve aumentar para manter a igualdade na equação.
			Não é possível diminuir indefinidamente a incerteza no momento do elétron.	
	Superordenados	Relação de incerteza entre duas grandezas físicas	Visto que o lado esquerdo da igualdade é um produto entre $\Delta x$ e $\Delta p_x$ , nesse caso ao diminuir um dos valores o outro deveria aumentar para manter a igualdade.	
	Combinatórios	Exatidão, precisão, resolução	É impossível conhecer com precisão a posição e o momento do elétron simultaneamente.	
EP2	Subordinadas	Superposição	Antes de se observar o interior da caixa o gato está em um estado de superposição, nesse caso, vivo e morto.	Mas na verdade ele está em apenas um estado que não pode ser definido pois não foi observado.
	Superordenados	Possibilidade de definir um estado para um sistema físico	Sem observar o evento é impossível definir o estado. Nesse experimento o estado já estava definido, só era desconhecido.	
	Combinatórios	Medição/observação, incerteza, probabilidade	50% de probabilidade de ele estar vivo e 50% de estar morto.	O que faz com que haja uma incerteza no “real estado” do gato.

			O estado não pode ser definido pois não foi observado.	
--	--	--	--	--

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Com relação a aprendizagem subordinada referente ao EP1, percebemos uma predominância de argumentos matemáticos por parte de A1G2. Ou seja, em vários momentos de suas considerações o estudante se utiliza de argumentos matemáticos para sustentar as suas conclusões. Essas considerações parecem permitir que se faça a inferência de que A1G2 encontrou subordinação para o novo conhecimento a partir de conhecimentos subsunçores relacionados a relações matemáticas, que por si, impuseram limites na incerteza das grandezas físicas relacionadas pelo EP1.

No que diz respeito a aprendizagem combinatória, é possível inferir que pode não ter ficado clara a relação estabelecida entre os significados de exatidão, precisão e resolução. Essa nossa afirmação encontra respaldo porque pode ser evidenciado o fato de que A1G2 não faz muitas menções aos processos de medição em si, e também não diferencia esses conceitos, e sim utiliza termos como “conhecer com precisão a posição” de forma muito genérica e até mesmo vaga.

Atendo-se sobre as construções de A1G2, no que diz respeito ao EP2, um elemento merece destaque e chama mais a atenção: ao discutir sobre a “impossibilidade” de se definir o estado (vivo ou morto) do gato, ele afirma que na verdade o gato está em um estado bem definido. A questão aqui a ser percebida e compreendida é a de que este estado apenas não está sendo observado. Assim, portanto, de acordo com as suas construções, para A1G2, o gato está em um estado de superposição, todavia, isso ocorre somente pelo fato de que não temos ferramentas para conhecer o seu estado, que na verdade é bem definido. Por fim, destacamos também que o conceito de superposição foi evidenciado no teste inicial, ou seja, A1G2 possuía em seus conhecimentos prévios a definição do que é superposição de estados (no sentido clássico).

### **EP1 por A2G2**

Segundo A2G2 não é possível ter certeza sobre a posição do elétron. Nas palavras de A2G2, “quando você mede a posição do elétron a área varrida pelo raio gama sempre vai ter uma largura, isso faz com que não se tenha total certeza de onde ele está”. De acordo com ele



seria possível diminuir a incerteza da posição diminuindo o comprimento de onda significativamente. Segundo ele “diminuindo o comprimento de onda aumenta-se a precisão na medida da posição”. Todavia, como se percebe no segundo problema, ao diminuirmos a incerteza na posição, aumenta-se a incerteza no momento, de acordo com A2G2 isso acontece porque de acordo com as equações apresentadas no enunciado  $\lambda$  e  $\Delta p_x$  são inversamente proporcionais.

Tomando por base essas afirmações iniciais, compreende-se que A2G2 responde (ao menos de forma aproximada, no nosso entendimento) aos dois problemas levantados no texto orientador. Entretanto, observa-se que, especialmente no segundo problema, o estudante também é desafiado, a partir das discussões apresentadas no texto, a deduzir uma relação matemática para o produto entre a incerteza na posição e no momento do elétron. Como é possível observar na Figura 39 apresentada a seguir, o estudante A2G2 deduz de forma satisfatória essa relação.

Figura 39 - Representação de A2G2 para o EP1.

The image shows handwritten mathematical work on a grid background, divided into two columns. The left column contains the following equations:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

$$\Delta p_x = 2p \sin \theta$$

$$\Delta x \cdot \Delta p_x$$

The right column contains the following equations:

$$\frac{\lambda}{\sin \theta} \cdot (2p \sin \theta)$$

$$\pm 2p\lambda$$

$$\pm 2 \cdot \lambda \cdot \frac{h}{\lambda}$$

$$\pm 2h$$

To the right of these equations, the student has written the de Broglie relation:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

**EP2 por A2G2**

Para a situação inicial do EP2, A2G2 afirma que este só pode chegar a um resultado possível, ou seja, o gato tem 50% de probabilidade de estar vivo e 50% de probabilidade de estar morto. Logo, seguindo suas construções, A2G2 afirma que o gato pode estar vivo ou morto, ou vivo e morto.

Outra questão levantada no enunciado do EP é como ficaria a definição do estado do gato depois do observador abrir a caixa e medir o seu estado. Para A2G2, isso: “Deixaria de ser probabilístico, isso anula umas das possibilidades, e acaba definindo o estado do gato”.

Segundo A2G2 a medição elimina a incerteza sobre o estado do gato. Logo antes da medição o evento tem caráter probabilístico, após a medição do estado do gato, o evento se torna determinístico.

### Hierarquização dos significados construídos por A2G2

O Quadro 37 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A2G2 durante a realização dos EPs.

Quadro 37 - Hierarquização dos significados construídos por A2G2.

A2G2				
EP1	Subordinadas	Incerteza	Não é possível ter 100% de certeza sobre a posição do elétron.	Ao diminuirmos a incerteza na posição, aumenta-se a incerteza no momento.
	Superordenados	Relação de incerteza entre duas grandezas físicas	Ao diminuirmos a incerteza na posição, aumenta-se a incerteza no momento.	
	Combinatórios	Exatidão, precisão, resolução	Diminuindo o comprimento de onda aumenta-se a precisão na medida da posição. Quando você mede a posição do elétron sempre a área variada pelo raio gama sempre vai ter uma largura, isso faz com que não se tenha total certeza de onde ele está.	
EP2	Subordinadas	Superposição	O gato pode estar vivo ou morto, ou vivo e morto. O gato tem 50% de probabilidade de estar vivo e 50% de probabilidade de estar morto.	
	Superordenados	Possibilidade de definir um estado para um sistema físico	Antes da medição o evento tem caráter probabilístico, após a medição do estado do gato, o evento se torna determinístico. Se a caixa for aberta o evento deixaria de ser probabilístico, e o estado do gato é definido.	
	Combinatórios	Medição/observação, incerteza, probabilidade	A medição elimina a incerteza sobre o estado do gato. O gato tem 50% de probabilidade de estar vivo e 50% de probabilidade de estar morto.	Antes da medição o evento tem caráter probabilístico, após a medição do estado do gato, o evento se torna determinístico.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Durante a realização do EP1 quando A2G2 escreve “diminuindo o comprimento de onda aumenta-se a precisão na medida da posição” parece que ele não está se referindo a precisão de

fato e sim a resolução de uma medida isolada. Além do argumento matemático A2G2 traz considerações sobre a “largura” do raio gama, o que pode estar relacionado a uma menção ao processo de medição. Apesar da incompletude na utilização de alguns termos, percebeu-se significativa evolução em relação aos conhecimentos prévios identificados por meio do teste inicial, onde o conceito de incerteza não pareceu muito bem elaborado, nesse sentido é possível inferir que durante a realização do EP houve o que Ausubel chama de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa.

No que diz respeito ao EP2, A2G2 parece formular de forma coerente o aspecto probabilístico da situação e como o fato de se fazer uma inferência sobre o estado do gato (abrir a caixa) altera as possibilidades. Todavia, não é possível afirmar se a ideia de superposição ficou bem formulada, ou seja, o princípio de superposição afirma que os estados coexistem, não se trata apenas de uma situação probabilística.

### EP1 por A3G2

A3G2 afirma que se diminuirmos o comprimento de onda do fóton, diminuimos a incerteza na posição do elétron, visto que a área “varrida” pelo fóton seria menor. Porém fótons de comprimento de onda menor possuem maior energia, por consequência após a colisão haverá um espalhamento maior aumentando a incerteza no momento do elétron atingido. Nas palavras de A3G2 “Sendo assim quanto mais aumentamos a precisão na medida da posição mais isso interfere na precisão do momento”. Portanto, de acordo com A3G2, é impossível reduzir simultaneamente as duas incertezas.

No que diz respeito a dedução da equação proposta no enunciado do segundo problema, A3G2 conseguiu demonstrá-la satisfatoriamente como pode-se observar na Figura 40.

Figura 40 - Representação de A3G2 para o EP1.

The image shows handwritten mathematical work on a piece of paper. The equations are:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

$$\Delta p = 2p \sin \theta$$

$$\frac{\lambda}{\sin \theta} \cdot 2p \sin \theta = 2p \lambda$$

$$2p \lambda = 2 \frac{h}{\lambda} \lambda = 2h$$

$$\Delta p \cdot \Delta x = 2h$$

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

## **EP2 por A3G2**

A3G2 afirma que é impossível definir em qual dos estados o gato se encontra com a caixa fechada como sugere a parte inicial do EP2. Como justificativa para essa afirmação, e respondendo ao segundo problema levantado no enunciado do EP2, A3G2 faz as seguintes considerações: “O sistema está em um estado de superposição. As respostas obtidas matematicamente (nesse caso 50% para cada possível estado) mostram ser impossível prever o estado do gato (vivo ou morto) até realizarmos uma medida e inferirmos sobre seu estado”.

Nas palavras de A3G2 “Ao abrirmos a caixa, o sistema se obriga a escolher um dos estados”. Ainda seguindo nessa mesma linha de raciocínio A3G2 afirma que isso ocorre, pois ao interferirmos no sistema para realizar a medição alteramos os fatores presentes na situação. Segundo ele, antes de realizarmos a medição temos dois possíveis estados para o gato (vivo ou morto), ao realizarmos a medição alteramos essas possibilidades. Esse fator extra, como é chamado por A3G2, gera o que se conhece como colapso da função de onda e, em suas palavras, “Tal colapso obriga o sistema, antes em estado de superposição, a seguir pelo caminho A ou B, ou seja vivo ou morto”.

## **Hierarquização dos significados construídos por A3G2**

O Quadro 38 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A3G2 durante a realização dos EPs.

Quadro 38 - Hierarquização dos significados construídos por A3G2.

A3G2				
EPI	Subordinadas	Incerteza	Quanto menor for $\lambda$ menor a incerteza na posição do elétron.	É impossível reduzir simultaneamente as duas incertezas.
			Quanto menor for $\lambda$ maior a incerteza no momento do elétron.	
	Superordenados	Relação de incerteza entre duas grandezas físicas	Quanto mais aumentamos a precisão na medida da posição mais isso interfere na precisão do momento.	
	Combinatórios	Exatidão, precisão, resolução	Diminuindo o comprimento de onda do fóton, diminuímos a incerteza na posição do elétron, visto que a área “varrida” pelo fóton seria menor.	
EP2	Subordinadas	Superposição	Ao abrirmos a caixa, o sistema se obriga a escolher um dos estados.	O sistema está em um estado de superposição. Impossível prever o estado do gato (vivo ou morto).
			Antes de realizarmos a medição temos dois possíveis estados para o gato (vivo ou morto), ao realizarmos a medição alteramos essas possibilidades.	Impossível prever o estado do gato (vivo ou morto) até realizarmos uma medida e inferirmos sobre seu estado.
	Superordenados	Possibilidade de definir um estado para um sistema físico	O colapso obriga o sistema, antes em estado de superposição, a seguir pelo caminho A ou B, ou seja, vivo ou morto.	Ao abrirmos a caixa, o sistema se obriga a escolher um dos estados.
	Combinatórios	Medição/observação, incerteza, probabilidade	Para realizar a medição alteramos os fatores presentes na situação.	As respostas obtidas matematicamente (nesse caso 50% para cada possível estado) mostram ser impossível prever o estado do gato (vivo ou morto) até realizarmos uma medida e inferirmos sobre seu estado.
			Esse fator extra, gera o que se conhece como colapso da função de onda.	

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A3G2 traz de forma explícita o conceito de efeito Compton quando menciona que fótons de menor comprimento de onda possuem maior energia, por consequência após a colisão haverá um espalhamento maior aumentando a incerteza no momento do elétron atingido. Segundo ele isso faz com que na medida que se diminui a incerteza na posição se aumenta a incerteza no momento. Essas afirmações trazem à tona uma relação mais direta desse princípio com o problema da medição, o que pode ser relacionado em certa medida com as primeiras formulações dessa lei por Heisenberg. Essas considerações remetem a mobilização dos conhecimentos que A3G2 possuía (evidenciados por meio do teste inicial) tornando-os mais diferenciados e estabelecendo uma relação com o processo de medição, tema recorrente nos estudos da mecânica quântica.

Em suas colocações para o EP2, A3G2 utiliza conceitos bastante formais da mecânica quântica, como colapso da função de onda e formula de forma razoavelmente completa o princípio da superposição demonstrando uma diferenciação abrangente de seus conhecimentos. Comparando com sua resposta no teste inicial para o que significa superposição “dois ou mais estados se misturam em um só” é possível se inferir que houve uma formulação mais completa e aproximada dos conceitos da mecânica quântica durante a realização do EP2, porém ancorada no conhecimento prévio apresentado pelo estudante o que vai de encontro aos pressupostos da TAS.

### EP1 por A4G2

No início da sua descrição acerca do EP1, A4G2 afirma ser impossível obter absoluta certeza sobre a posição do elétron. Segundo A4G2 pode-se diminuir a incerteza na posição do elétron diminuindo o comprimento de onda do fóton, isso diminuiria a largura onde existe a probabilidade de se encontrar o elétron, todavia isso faria com que a incerteza no momento aumentasse, pois, o fóton incidente afetaria mais o momento do elétron. A4G2 ainda traz a consideração de que nesse experimento o que se busca é a região de maior probabilidade de se encontrar o elétron.

Sobre o segundo problema, A4G2 inicia realizando a dedução da equação relacionada ao EP1. Com exceção de um último ajuste que poderia ser feito na equação a parte da demonstração realizada foi satisfatória. A Figura 41 apresenta a dedução da relação de incerteza obtida por A4G2 para o EP1.

Figura 41 - Representação de A4G2 para o EP1.

PROBLEMA 2

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\text{sen } \theta}$$

$$\Delta p_x = 2p \text{ sen } \theta$$

$$\Delta p_x = 2p \cdot \frac{\lambda}{\Delta x}$$

$$\Delta p_x = 2p \frac{\lambda}{\Delta x}$$

$\lambda = \Delta x \cdot \text{sen } \theta$   
 $\text{sen } \theta = \frac{\lambda}{\Delta x}$

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

## EP2 por A4G2

De acordo com A4G2 sem de fato abrir a caixa seria impossível definir se o gato está vivo ou morto. Nesse caso, de acordo com suas considerações, a única possível definição para o estado do gato é de que de fato existe 50% de probabilidade de ele estar vivo e 50% dele estar morto. A4G2 afirma que esse caráter probabilístico da situação está atrelado ao fato de ser impossível realizar qualquer medição sobre o estado do gato, nas palavras de A4G2 “[...] isso acaba gerando incerteza sobre qual é o seu estado”.

Segundo A4G2, em qualquer experimento de Física o que se busca são medidas para que se possa interpretar os eventos relacionados ao experimento. No experimento proposto é impossível obter dados empíricos, nesse caso é impossível concluir qual é o estado do gato.

Ao abrir a caixa o observador poderia facilmente definir se gato está vivo ou morto. Com essa inferência o caráter probabilístico do evento é eliminado e o estado do gato é determinado.

## Hierarquização dos significados construídos por A4G2

O Quadro 39 apresenta os significados identificados nos materiais produzidos por A4G2 durante a realização dos EPs.

Quadro 39 - Hierarquização dos significados construídos por A4G2.

A4G2			
EP1	Subordinadas	Incerteza	Não é possível determinar a posição e o momento do elétron simultaneamente.
	Superordenados	Relação de incerteza entre duas grandezas físicas	Não é possível determinar a posição e o momento do elétron simultaneamente.
			Se eu diminuo o comprimento de onda a medida da posição fica mais precisa, porém isso interfere na medida do momento.
Combinatórios	Exatidão, precisão, resolução	Se eu diminuo o comprimento de onda a medida da posição fica mais precisa.	
EP2	Subordinadas	Superposição	A única definição possível é de que existe 50% de probabilidade de o gato estar vivo e 50% dele estar morto.
	Superordenados	Possibilidade de definir um estado para um sistema físico	Ao abrir a caixa o observador poderia facilmente definir se gato está vivo ou morto.
			No experimento proposto é impossível obter dados empíricos, nesse caso é impossível concluir qual é o estado do gato.
Combinatórios	Medição/observação, incerteza, probabilidade	O caráter probabilístico da situação está atrelado ao fato de ser impossível realizar qualquer medição sobre o estado do gato.	É impossível fazer qualquer medição sobre o estado do gato e isso acaba gerando incerteza sobre qual é o seu estado.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

No que diz respeito ao EP1, um elemento que merece destaque nas considerações de A4G2 é a menção ao fato de que se diminuirmos o comprimento de onda do fóton incidente diminuísse a incerteza na posição do elétron, todavia o fóton “afetaria” mais o momento do elétron aumentando assim a sua incerteza. Esse termo “afetaria” pode ser interpretado como uma menção ao fato de que em seu entendimento o processo de medição está relacionado a incerteza. A4G2 também aplica nessa consideração seu conhecimento (evidenciado no teste inicial) sobre o efeito Compton. A4G2 ainda traz a consideração de que nesse experimento o que se busca é a região de maior probabilidade de se encontrar o elétron. Todas essas ideias utilizadas por A4G2 remetem ao fato de que este se utilizou de seus conhecimentos prévios e expandiu suas aplicações, tornando mais ricas as inter-relações existentes eles.

Para o EP2, A4G2 afirma ser impossível definir qual é o estado do gato, sendo que existe 50% de probabilidade de ele estar vivo e 50% dele estar morto. Essa consideração está incompleta ou foi colocada de forma descuidada, visto que o estado de superposição já é uma definição, ou seja, não é impossível definir o estado, visto que ele está em superposição. Em outras palavras, A4G2 levanta o caráter probabilístico do problema, porém a ideia de superposição não parece bem formulada. Cabe destacar que no teste inicial A4G2 respondeu que superposição na Física ocorre quando “Duas coisas que ocupam a mesma posição no espaço” e quando solicitado que desce um exemplo de superposição na Física ele não o fez. Podemos notar por meio de sua resposta certa dificuldade em expressar os termos por meio de uma linguagem científica e também certa incompletude conceitual em suas afirmações tanto no teste inicial, como na realização dos EPs. Nesse sentido, inferimos que o que pode ter ocorrido é que o baixo grau de formalidade de seus conhecimentos prévios sobre alguns conceitos pode ter ocasionado as incoerências e/ou incompletudes durante a realização dos EPs.

#### 6.5.3.2.2 Dados referentes as discussões coletivas

Na sequência são apresentados os dados referentes as discussões coletivas, obtidos por meio da análise da transcrição dos vídeos gravados em cada episódio de ensino envolvendo os EPs.

#### **EP1 pelo grupo G2**

Inicialmente o professor/pesquisador questionou os estudantes sobre o que poderia ser variado no sentido de reduzir a incerteza na posição do elétron. A2G2 sugere que poderia trocar



a lente do microscópio. A4G2 sugere que se modifique a resolução da lente, para isso devemos diminuir o comprimento de onda do raio gama emitido. Todavia, A1G2, levanta a questão de que se você diminuir o comprimento de onda vai diminuir a incerteza da posição, porém aumentar a incerteza do momento.

A fim de trazer mais elementos para a discussão, o professor/pesquisador questiona os estudantes sobre a possibilidade de reduzir indefinidamente a incerteza na posição ou no momento do elétron. A1G2 afirma que isso seria impossível visto que esta depende da constante  $2h$ . Nesse momento A3G2 adentra na discussão, afirmando que seria possível sim diminuir indefinidamente a incerteza na posição ou no momento do elétron, apenas não se poderia fazê-lo para as duas grandezas simultaneamente. Segundo ele para isso basta variar indefinidamente o comprimento de onda  $\lambda$ . Porém, A2G2 questiona sobre a possibilidade de se reduzir ou aumentar indefinidamente o valor de  $\lambda$ , argumentando que parece não fazer sentido pensar em valores de  $\lambda$  que sejam iguais a zero ou a infinito. Nesse sentido, segundo A1G2, então existiria um limite para se reduzir a incerteza de uma medida, e este estaria relacionado a valores de  $\lambda$  tendendo a zero ou a infinito. Todos parecem concordar com essa linha de raciocínio, e neste momento o professor/pesquisador faz mais uma inferência, colocando que, de fato, pode-se reduzir  $\lambda$  para valores extremamente pequenos ou aumentar para valores extremamente grandes, que mesmo não sendo igual a zero, mesmo assim poderia ser feita a aproximação de que a incerteza na posição basicamente se tornaria zero. Porém isso teria um preço, ou seja, a incerteza no momento cresceria absurdamente. Nesse sentido, ao término dessa etapa da discussão, parece ter ficado claro para todos que o problema está em obter valores de incerteza para a posição e o momento igualmente pequenos de forma simultânea.

Percebemos que nas falas dos estudantes, ora eles utilizavam o termo precisão, ora o termo exatidão, e ora falavam em “área varrida” pelos raios gama. Nesse sentido, coube um questionamento do professor/pesquisador, no sentido de diferenciar essas colocações. A inferência foi no sentido de clarificar esses conceitos, diferenciando exatidão, precisão e resolução nos processos de medição. Foi tomado o entendimento de exatidão, como algo geral que significa o quanto uma medida obtida se aproxima do valor aceito como correto, precisão como associada ao desvio-padrão de várias medidas e resolução como a capacidade de leitura de um instrumento em uma medição individual. Após expostas essas considerações pelo professor/pesquisador, percebeu-se que, mesmo que alguns dos acadêmicos utilizavam em suas falas o termo precisão, eles estavam querendo se referir a uma medida individual. No caso todos eles concordaram que estavam querendo se referir a resolução e não a precisão.

Outra temática relevante que surgiu nas discussões coletivas foi levantada por A2G2 e pode ser relacionada a interpretação do princípio da incerteza. Ele questiona se os valores da posição e do momento do elétron estão bem definidos ou não “na realidade”, porque, segundo ele “me parece que eles são bem definidos e de forma simultânea, o problema está em nossa capacidade de medição”. A3G2 retruca dizendo que a princípio o elétron deve ter a posição e o momento bem definidos, mas é a nossa medição que afeta o estado das “coisas”. A questão levantada por A2G2 seguida da afirmação de A3G2 está relacionada a interpretação do princípio da incerteza. A ideia utilizada por A3G2 pode ser relacionada a interpretação original trazida por Heisenberg, onde a posição e o momento possuem valores bem definidos simultaneamente, mas a medição de um alteraria o valor do outro de forma imprevisível. Nesse momento o professor/pesquisador fez uma breve inferência, trazendo a ideia de que durante a formulação da mecânica quântica como a conhecemos hoje, ao longo dos anos surgiram diferentes interpretações para o princípio da incerteza, uma delas é a que pode ser relacionada a fala de A3G2. Foi encerado o encontro com a consideração de que nas próximas aulas seria realizada uma formalização mais completa do princípio da incerteza, assim como discutidas as diferentes interpretações e aplicações deste.

## **EP2 pelo grupo G2**

Inicialmente em suas considerações A2G2 parece confundir o estado de superposição com probabilidade. Ele afirma que sem abrir a caixa o observador externo afirma que o gato possui 50% de probabilidade de estar vivo e 50% de probabilidade de estar morto. Nesse momento o professor/pesquisador questiona A2G2 “Tudo bem, mas qual é o estado do gato?”. O acadêmico fica pensativo e responde: “vivo e morto”, quando questionado sobre o que isso significa ele responde que está relacionado com a incapacidade de se determinar o “real” estado do gato.

Nesse momento A3G2 entra na discussão considerando que na verdade o gato está em um estado superposto de vivo-morto, e que é a medição que o obriga a escolher um dos estados. Segundo ele isso é diferente do que assumir somente que é uma questão probabilística e na verdade a questão é que antes de se efetuar a medição os dois estados coexistem.

A1G2 interrompe a discussão e afirma que isso só ocorre porque o observador externo não pode “ver” o estado do gato que na realidade está vivo ou morto. A3G2 questiona A1G2 sobre essa afirmação trazendo a ideia de que seria impossível fazer tal afirmação visto que o observador externo não realizou nenhuma medida sobre o estado do gato, nesse caso segundo

ele a única afirmação coerente que o observador externo pode fazer é a de que o gato se encontra em um estado de superposição. Nesse momento da discussão foram levantados vários argumentos, todos relacionados ou relacionáveis com as diferentes interpretações da mecânica quântica.

Por fim, o professor/pesquisador retoma a ideia principal do EP, que é trazer à tona um problema relacionado ao que se conhece como princípio da correspondência. Tal princípio afirma que a mecânica quântica deve corresponder a Física Clássica quando o sistema é levado ao limite do mundo macroscópico. Nesse contexto, a problemática levantada pelo EP está relacionada a como parece absurdo aplicarmos o princípio da superposição a um sistema como um gato, por exemplo, mas nada deve ter de estranho o aplicarmos a um elétron.

#### 6.5.3.2.3 Discussão dos resultados referentes aos episódios de ensino realizados com o grupo G2

O EP1 tem como objetivo levantar algumas propriedades do princípio da incerteza de Heisenberg. Organizamos inclusive o texto orientador de forma que os estudantes fossem levados a realizar uma formulação matemática que tem forma parecida com o princípio de Heisenberg. Basicamente o texto orientador desafia o estudante a construir a ideia de incerteza na posição e no momento e a relação entre essas incertezas no âmbito da mecânica quântica. O Quadro 40 traz os significados mais centrais produzidos pelos estudantes no que diz respeito a causa atribuída a incerteza existente na posição do elétron.

Separamos as respostas dos estudantes em duas categorias, a primeira diz respeito a resolução da medida e a segunda ao resultado matemático obtido na equação deduzida pelos estudantes durante a realização do EP. Na primeira categoria enquadrámos as respostas daqueles que atribuíram a incerteza a propriedades relacionadas ao processo de medição, os estudantes utilizaram termos como: “área varrida pelos raios gama” e “largura dos raios gama”. Na segunda categoria foi enquadrada apenas uma resposta, na qual A1G2 não mencionou nenhum outro elemento se não as proporcionalidades existentes nas relações matemáticas apresentadas e obtidas na realização do EP.

Quadro 40 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP1.

<b>Incerteza na posição</b>	
Resolução da medida	Resultado matemático
A2G2, A3G2, A4G2	A1G2

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Percebemos por meio dos dados da tabela 40 que a maioria (3:4), ou seja, 75%, dos estudantes participantes do estudo, mencionaram propriedades relacionadas a resolução da medida como causadores da incerteza na posição do elétron. Notem que nos utilizamos aqui do termo “resolução da medida”, destacamos, porém, que nas respostas e nos diálogos dos estudantes, estes utilizaram vários termos, como precisão, “conhecer o valor”, porém pelo contexto de suas falas pareceu que estavam tentando se referir a resolução de uma medida individual. Essa mesma confusão conceitual foi evidenciada no estudo realizado por Montenegro e Pessoa Jr. (2002), onde segundo os autores os alunos utilizaram vários termos diferentes para designar que o princípio impõe uma limitação na exatidão da medição simultânea da posição e do momento do elétron. A partir dos dados de seu estudo os autores puderam observar que os termos se espalhavam entre dois polos: um deles relacionado a características de medições, como “precisão”, “resolução”; e o outro relacionado ao nosso “conhecimento”, ou “ignorância” acerca do mundo natural. Em nosso estudo, isso, que pode ser resultado de falta de clareza conceitual, ou dificuldade de se expressar com termos coerentes foi evidenciado também no teste inicial, onde os estudantes fizeram essa mesma confusão de conceitos relacionados a precisão, resolução e incerteza.

As respostas contidas no Quadro 40 foram complementadas com as considerações dos participantes do estudo sobre a possibilidade de reduzir a incerteza na posição do elétron nesse experimento. A partir da análise dos dados sistematizamos as respostas dos estudantes no Quadro 41.

Quadro 41 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP1

<b>Como diminuir a incerteza na posição</b>	
Diminuir $\lambda$	Diminuir $\lambda$ e aumentar $\text{sen}\theta$
A2G2, A3G2, A4G2	A1G2

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Ao serem questionados sobre como seria possível reduzir a incerteza na posição do elétron, percebemos, de acordo com os dados dispostos no Quadro 41 que 3 dos 4 estudantes sugeriram que se reduzisse o comprimento de onda dos raios gama utilizados, sendo que um deles apenas sugeriu que além de reduzir o comprimento de onda se poderia aumentar  $\text{sen}\theta$ . Todos os estudantes responderam ser possível reduzir a incerteza na posição do elétron, porém, A1G2 e A4G2, mencionam ainda que existe um limite para isso, ou seja, pode-se, segundo eles, reduzir o quanto se queira a incerteza na posição do elétron, todavia não é possível que ela chegue a ser zero. De fato, o princípio da incerteza não impede que se reduza a valores muito pequenos a incerteza na posição do elétron, e uma incerteza igual a zero também não faria muito

sentido de acordo com a construção sugerida pelo EP, ou seja, para isso seria necessário que  $\lambda$  fosse igual a zero. Porém é possível reduzir a incerteza a valores desprezíveis, ao ponto de poder-se afirmar que ela seja igual a zero.

A ideia central do princípio da incerteza de Heisenberg é a de que não se pode reduzir a incerteza da posição e do momento para valores arbitrariamente pequenos simultaneamente. Os dados evidenciados por meio da análise dos materiais escritos produzidos pelos estudantes estão sistematizados no Quadro 42. Elaboramos duas categorias emergentes nos dados dos estudantes, uma as considerações feitas somente baseadas no resultado matemático apresentado e obtido durante a realização do EP (Originada no resultado da equação) e a outra se constitui nas considerações feitas pelos estudantes em que são mencionadas interpretações que remetem a ideia de que o processo de medição interfere no valor obtido para a medida (O processo de medição interfere no resultado).

Quadro 42 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP1.

Relação de incerteza	
Originada no resultado da equação	O processo de medição interfere no resultado
A1G2, A2G2	A3G2, A4G2

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Identificamos uma distribuição de 50% para cada uma das categorias (2:4). Destacamos que os estudantes enquadrados na segunda categoria também trouxeram em suas considerações a construção matemática exigida pelo texto orientador do EP1. Todavia, também mencionaram a questão de que o processo de medição estaria alterando o resultado da medida. Essa concepção pode ser relacionada ao trabalho original de Heisenberg sobre o princípio em questão, onde, nessa visão, a posição e o momento teriam valores simultâneos bem definidos, mas a medição de um alteraria o valor do outro de maneira imprevisível.

Por meio da análise das construções realizadas pelos estudantes durante a realização do EP foi possível evidenciar que conceitos como medição, espalhamento Compton, comprimento de onda e incerteza se tornaram mais bem diferenciados podendo-se inferir que foi possível evidenciar indícios de aprendizagem significativa. O que remete a inferência de que foi possível promover aquilo que Ausubel, Novak e Hanesian (1983) chamam de diferenciação progressiva, ou seja, a interação promovida pela tarefa de aprendizagem faz com que novos conceitos sejam desenvolvidos, elaborados e diferenciados no que diz respeito a seus detalhes e especificidades.

O EP2 aplicado com o grupo G2 foi o conhecido como “Gato de Schrödinger”. Por meio do aparente paradoxo levantado pelo EP a ideia era que os estudantes pudessem compreender o princípio de superposição no âmbito da mecânica quântica, assim como algumas de suas

implicações. Realizamos a sistematização dos dados obtidos organizando os principais significados no Quadro 43.

Quadro 43 - Significados identificados para o grupo G2 durante a realização do EP2.

<b>Superposição</b>		
Somente relação probabilística	Coexistência de estados e colapso da função de onda	Limite em observar o estado (vivo ou morto) que na verdade é bem definido
A4G2, A2G2	A3G2	A1G2

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

A primeira categoria (Somente relação probabilística) remete aqueles estudantes que mencionaram que sem abrir a caixa é impossível determinar qual é o estado do gato pelo fato de se tratar de uma relação probabilística, segundo eles o sistema estaria em superposição, mas o conceito de superposição quântica não ficou muito claro. Na verdade, as considerações dos estudantes não estão incorretas no que diz respeito a probabilidade, de fato a questão é probabilística, mas o princípio de superposição vai além disso, no caso é uma questão probabilística, todavia afirmar que o estado é de superposição significa que os dois estados coexistem até que se faça uma medição e se infere sobre qual é (dentre os possíveis) o estado do sistema. Nesse sentido, classificamos as respostas dos estudantes nessa categoria pelo fato de não ter ficado claro se eles compreenderam toda a amplitude do princípio.

A resposta mais “complexa” no que diz respeito ao princípio de superposição foi de A3G2 que foi enquadrada na segunda categoria (Coexistência de estados e colapso da função de onda). Em suas construções A3G2 afirma que até que se faça a medição os dois estados (vivo e morto) coexistem em um estado de superposição. Segundo as suas considerações ao abrirmos a caixa o sistema se obriga a escolher um dos estados. Ele ainda traz mais detalhes sobre a interpretação de porque isso ocorre, ou seja, em suas palavras “ao realizarmos a medição e inferirmos no sistema mudamos os fatores presentes na situação e interferimos no resultado obtido”. A3G2 encerra suas considerações mencionando que ao realizarmos o processo de medição geramos o colapso da função de onda e tal colapso obriga o sistema, antes em superposição, a escolher um dos estados.

Esses elementos interpretativos relacionados ao EP do Gato Schrödinger abriram a possibilidade de se fazer algumas inferências acerca das diferentes interpretações da mecânica quântica. Segundo Pessoa Jr (2006) existem dezenas de interpretações diferentes acerca da Mecânica Quântica, que podem ser dispostas em quatro ou cinco grupos. O autor apresenta em sua obra quatro interpretações básicas. (1) Interpretação Ondulatória - onde considera a ideia de Erwin Schrödinger afirmando que os objetos quânticos são na verdade ondas seguindo com

a introdução da noção de colapso de onda sugerida por John von Neumann. (2) Interpretação Corpuscular - considerando as ideias de Alfred Landé, Leslie Ballentine e outros de que os objetos quânticos são na realidade partículas sem nenhuma propriedade ondulatória associada. (3) Interpretação Dualista Realista (formulada originalmente por Louis de Broglie com posteriores reformulações de David Bohm) – se utiliza da ideia de que o objeto quântico se divide em dois, ou seja, uma partícula com trajetória bem definida e uma onda associada, David Bohm também introduz a ideia de variáveis ocultas, ou seja, o sistema quântico tem estados adicionais ocultos que não são detectados durante os experimentos. (4) Interpretação da Complementaridade (elaborada por Niels Bohr) – segundo o autor essa interpretação assume a limitação na capacidade de o ser humano representar a realidade microscópica por meio de conceitos da Física Clássica. No caso o resultado será descrito como ondulatório ou corpuscular, mas nunca os dois ao mesmo tempo, e este resultado vai depender do arranjo experimental montado (PESSOA JR., 2006).

Partindo desses pressupostos e analisando os significados construídos pelos estudantes durante a realização dos EPs, podemos inferir, com as devidas aproximações, que todas as considerações de A3G2 estão de acordo com a interpretação da Mecânica Quântica chamada de Interpretação Ondulatória, pois o estudante menciona de forma explícita a ideia de colapso da função de onda.

A1G2 também realizou construções coerentes na realização do EP2, todavia, apresentou considerações que podem ser relacionadas a outra interpretação da Mecânica Quântica, a interpretação dualista-realista, ou também conhecida como Interpretação das Variáveis Ocultas. De acordo com as suas construções o gato está em um estado de superposição, todavia, isso ocorre somente pelo fato de que não temos ferramentas para conhecer o seu estado, que na verdade é bem definido, ou seja, existem variáveis que não podem ser definidas ou observadas no processo de medição.

Esses elementos relacionados as diferentes interpretações da Mecânica Quântica não estavam no escopo inicial do estudo, porém se mostraram no momento de análise dos dados. Nesse sentido, optamos por trazer essa breve discussão acerca dessas questões, que a nosso ver se mostraram pertinentes ao estudo.

Partindo das considerações tecidas até aqui podemos inferir que todas as relações apresentadas com base na análise dos dados referentes aos episódios de ensino envolvendo os EPs são indícios de aprendizagem significativa. Ou seja, se percebe tanto a mobilização dos conhecimentos prévios dos estudantes como a construção dos significados referentes aos

conteúdos relacionados aos EPs. Com o intuito de trazer mais elementos e ampliar as discussões a título de fechamento desta tese, partimos para as considerações finais do estudo.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para finalizar esta pesquisa, consideramos pertinente retomar, aqui, o caminho trilhado durante a produção da tese, destacando aqueles que foram se constituindo como fios condutores na estruturação das diferentes etapas do estudo. Na continuidade, pretendemos enaltecer os resultados obtidos, particularmente aqueles decorrentes do estudo definitivo e que possibilitam responder, de forma específica, ao questionamento central da tese. Por fim, apresentaremos possibilidades de continuidade do estudo, a partir da experiência vivenciada nesta investigação.

Em um primeiro momento, o estudo dedicou-se a descrever as contribuições dos EPs para a produção do conhecimento na Ciência. Partindo dessas contribuições, questionamos sobre sua viabilidade no contexto educacional, pois de um lado temos os EPs servindo de referência para produzir e divulgar conhecimento científico; de outro, uma gama muito limitada de estudos, principalmente em língua portuguesa, associados a propostas pedagógicas no campo do ensino de Física. Isso nos fortaleceu para buscar propostas que permitissem desenvolver um estudo envolvendo o uso didático de EPs históricos.

Com o intuito de trazer elementos para essa discussão e formalizar com mais rigor o problema de pesquisa, iniciamos o estudo apresentando trabalhos já desenvolvidos na área e descritos na literatura especializada nacional e internacional. Nessa revisão de literatura, foram encontrados uma tese e um artigo em língua portuguesa e doze artigos em língua estrangeira. Além de mostrarem a escassez de pesquisas nessa área, esses trabalhos indicaram possibilidades para realização do presente estudo. Nesse sentido, a revisão de literatura foi fundamental para delimitação e formulação do problema de pesquisa, dando-lhe o devido respaldo – os poucos trabalhos envolvendo o uso didático dos EPs seriam um indicativo das poucas contribuições dos EPs para a aprendizagem em Física?

Outro destaque da parte inicial da investigação – dedicada ao estudo bibliográfico e descritivo – encontra-se no terceiro capítulo. Para sua construção, nos debruçamos na literatura especializada a fim de buscar possíveis definições e classificações dos EPs, assim como localizar exemplos de EPs históricos e vinculados à produção e divulgação do conhecimento em Física. Tais abordagens trouxeram à tona características fundamentais acerca desse tipo de experimento. Essas características oportunizaram formular os indícios de como esses EPs poderiam contribuir em termos didáticos – aspecto central da investigação.

Considerando esses aspectos, apresentados nos primeiros capítulos, caminhamos no sentido de adentrar de forma mais direta na pesquisa, no intuito de definir seu desenho e seus primeiros ensaios no campo empírico. O foco estava em subsidiar a busca pela resposta ao

questionamento central: como os elementos cognitivos mobilizados pelos estudantes durante a realização de EPs em Física podem ser representativos de indícios de aprendizagem significativa? Para tanto, partimos do entendimento de que os EPs, em algum grau, favorecem a apropriação dos conhecimentos, todavia, precisávamos analisar como os elementos decorrentes da utilização desses EPs são mobilizados na estrutura cognitiva dos aprendizes. Ou seja, os EPs possibilitam construir significados para os fenômenos físicos em discussão, oportunizando uma aprendizagem significativa? O referencial teórico selecionado para dialogar com a produção de significados a partir dos EPs esteve por conta da TAS, que não apenas permite compreender o processo de aprendizagem e as condições necessárias para sua ocorrência, como também apresenta uma hierarquização para esses significados. Tais características da TAS nos possibilitaram avaliar como esse processo ocorreu na estrutura cognitiva de cada um dos participantes do estudo.

Após resgatar algumas ideias centrais do referencial teórico, assumimos como extremamente limitado um ensino baseado na mera repetição. Em detrimento desse tipo de aprendizagem, e amparados na TAS, constatamos, por meio deste estudo, que fazer uso da imaginação recorrendo à problematização planejada pode contribuir para as interações entre os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos e os conhecimentos científicos historicamente construídos e que são objeto de estudo nas aulas de Física. A utilização dos EPs, tanto na formulação da situação hipotética – imaginária como na resolução dos problemas levantados pelos participantes, mostrou-se como uma potente estratégia para mobilizar os seus conhecimentos prévios.

Essa mobilização da estrutura cognitiva dos estudantes pode promover a relação substantiva e não arbitrária dos novos conhecimentos a serem trabalhados com aqueles presentes na estrutura cognitiva do aprendiz – e em muitos casos de nosso estudo, isso de fato ocorreu. Tal relação é um dos elementos fundamentais discutidos por David Ausubel para que se possa chegar à aprendizagem significativa. Destacamos, aqui, que, pela natureza didática das situações envolvendo os EPs (resolução de problema), a maioria dos significados explicitados por meio das falas e dos textos dos estudantes deu-se em forma de proposições. Todavia, mediante a análise dessas proposições, foi possível, em alguns casos, evidenciar conceitos e princípios que as compõem.

Reiteramos que foi desenvolvido um estudo piloto em um momento anterior à pesquisa definitiva. O principal objetivo dessa etapa consistiu em evidenciar potencialidades e fragilidades na proposta, elementos que poderiam ser utilizados em um posterior aprimoramento para o estudo definitivo. Com base nesses resultados preliminares, foi possível

refinar o estudo, porém, não descartamos os aspectos considerados frágeis, pois acreditamos que são parte integrante da pesquisa, tendo contribuído, portanto, para os resultados atingidos na etapa seguinte. Essas contribuições podem ser destacadas pelas diferenças existentes entre o estudo piloto e o definitivo, principalmente em aspectos metodológicos e de contexto e população de estudo.

Para a realização do estudo piloto, foram selecionados quatro estudantes de diferentes níveis de escolaridade dispostos a participar da atividade em horário extraclasse. A ideia foi, basicamente, monitorar ao máximo todo o processo de aprendizagem dos participantes. Para isso, eles trabalharam em duplas e foram instaladas câmeras sobre cada mesa de trabalho. Além das videograções, foi recolhido material escrito pelos estudantes. Essa análise mais minuciosa e particularizada de cada estudante permitiu reunir uma gama razoavelmente ampla de dados para análise. Esses dados (significados explicitados), no geral, foram colocados pelos participantes da pesquisa em forma de proposições. Como o número de estudantes era reduzido e todo o ambiente foi preparado para capturar o maior número de elementos possível, tivemos uma grande riqueza de dados referentes a cada estudante. Isso permitiu identificar, por meio das proposições, os princípios e conceitos relacionados. Nesse sentido, no estudo piloto, optamos por separar os dados na análise final em “conceitos, princípios e proposições”. Notamos que, em muitos casos, durante o processo de resolução de um problema relacionado a um EP, o aprendiz resgata, mobiliza e diferencia um conhecimento prévio relacionado a um conceito ou princípio, ao utilizar e testar as proposições.

Ao analisar os dados referentes ao estudo piloto, verificamos que os sujeitos participantes utilizaram proposições relacionáveis com os seguintes conceitos e princípios físicos: princípio da relatividade clássica; conservação de energia, trabalho mecânico; composição de movimentos; referencial inercial e princípio de inércia. Entre a primeira atividade (EP1) e a segunda (EP2), percebemos, de forma geral, em todos os participantes, um refinamento na aplicação das proposições. Eles também reconheceram explicitamente, em suas falas, que haviam percebido a validade daquelas ideias para qualquer situação, desde que os referenciais fossem considerados inerciais. Esse fato leva a inferir, como primeiros resultados, que os EPs podem contribuir para a estruturação do pensamento de forma a estabelecer, na estrutura cognitiva, uma estrutura de ideias cada vez mais geral e inclusiva. Ou seja, os significados produzidos se mostraram ricos em inter-relações e com suficiente clareza conceitual.

Uma das alterações entre o estudo piloto e o estudo definitivo foi a opção, no segundo caso, por trabalhar com uma situação “real” de sala de aula. No estudo piloto, foram

selecionados quatro estudantes para realizar as atividades em horário extraclasse em um ambiente totalmente monitorado. Uma das potencialidades dessa abordagem é, principalmente, a já mencionada viabilidade de monitorar com mais rigor cada estudante individualmente, o que pode alterar os elementos a serem analisados; ou seja, amplia-se a potencialidade de se evidenciar questões idiossincráticas dos indivíduos. Todavia, em termos das fragilidades, ponderamos que esse ambiente “artificial” se diferencia muito do ambiente “natural” de sala de aula. Logo, para o segundo estudo, almejamos evidenciar quais seriam as potencialidades da utilização dos EPS em um ambiente “real” de sala de aula.

Destacamos que a abordagem adotada para o estudo definitivo, assim como no que tange ao estudo piloto, também apresentou potencialidades e fragilidades. Todavia, as fragilidades em nada tiram o mérito dos dados obtidos – pelo contrário, constituem mais um elemento relevante para o estudo. A principal potencialidade a ser salientada nessa abordagem está no fato de que buscamos investigar problemas relacionados à educação formal no ambiente onde de fato ela se dá, ou seja, na sala de aula. Mencionamos, ainda, que a maior diversidade de formas de pensamento enriqueceu as discussões e que a dinâmica de uma sala de aula traz mais elementos do que um grupo pequeno em horário extraclasse – caso do estudo piloto.

Em termos de uma possível fragilidade, percebemos que foi mais difícil obter e analisar os dados individuais, principalmente os referentes às discussões entre os estudantes, por se tratar de um número maior de participantes. Porém, apesar de o processo de análise e sistematização dos dados ter se tornado mais complexo, evidenciamos muitos elementos nos materiais escritos, que, aliados aos elementos obtidos das discussões, possibilitaram reunir dados suficientes para a análise almejada.

Constatamos que é extremamente desafiador, mas igualmente enriquecedor, realizar uma pesquisa no meio educacional em busca de elementos relacionados à cognição dos aprendizes. A atenção aos detalhes e o uso de diferentes fontes de dados foram de fundamental importância para atingíssemos o almejado. Em distintos momentos das atividades, foi possível evidenciar tanto a mobilização de elementos da estrutura cognitiva dos estudantes como suas dificuldades e inconsistências conceituais e representacionais.

Os materiais escritos pelos estudantes foram imprescindíveis para a análise em nosso estudo, possibilitando-nos fazer muitas inferências sobre os construtos dos participantes durante a realização dos EPs. Também nos permitiram observar certa dificuldade, demonstrada pela maioria, em se expressar de forma científica e com definições claras. Nessa perspectiva, identificamos problemas de linguagem e incompletudes em algumas definições, o que dificultou a análise em alguns casos. Esse fato também foi evidenciado no estudo de Kiouranis

(2009), em que a autora menciona ter percebido nos estudantes uma razoável facilidade na representação analógica e gráfica, porém uma dificuldade significativa quando se trata da escrita. Em sua percepção, as produções textuais revelam baixo domínio da variedade formal da linguagem científica dos alunos.

Destacamos, ainda, como válidas as discussões coletivas, tendo as videografações sido essenciais para a sua posterior análise. A principal contribuição desses momentos consistiu em evidenciar que alguns estudantes com dificuldades na escrita conseguiram se expressar por meio das discussões. Podemos relacionar as potencialidades das discussões coletivas aos resultados do estudo de Reinner (1998), em que são ressaltadas a possibilidade de aprendizagem social quando os alunos conduzem experiências de pensamento e uma maior facilidade na construção de EPs em ambientes colaborativos, o que pode ser um indicativo para investigações futuras com abordagens didáticas, usando esse tipo de ambiente de forma mais explícita.

Com base no presente estudo, defendemos que o uso de EPs no ensino de Física pode se configurar como uma atividade potencialmente significativa. Os procedimentos de análise aplicados sobre os dados produzidos, tanto na sua versão de estudo piloto como de estudo definitivo, permitiram evidenciar indícios de aprendizagem significativa, na medida em que conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes foram mobilizados pelos problemas levantados por meio dos EPs e se relacionaram, em grande parte, de forma substantiva e não arbitrária, com os novos conhecimentos. Tais considerações nos dão respaldo para defender, nesta tese, que o uso de EPs históricos no ensino de Física pode se revelar uma ferramenta que favorece a construção de significados sobre os fenômenos físicos.

Conforme Ausubel, Novak e Hanesian (1983), os significados produzidos são organizados de modo hierárquico na estrutura cognitiva dos aprendizes. Todavia, essas relações hierárquicas não são sequências rígidas, ou seja, não significa que a aprendizagem subordinada ocorre necessariamente antes das demais. Essas relações tampouco são excludentes, isto é, a aprendizagem de um determinado significado pode ser entendida, simultaneamente, como subordinada e como combinatória, por exemplo. Em nosso estudo (estudo definitivo), organizamos os significados evidenciados por meio da análise dos dados em termos de sua hierarquização. Essa disposição facilitou a interpretação dos resultados e a identificação da ocorrência da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa durante a realização dos EPs.

De acordo com Moreira (2016), o processo de diferenciação progressiva está mais relacionado com a aprendizagem subordinada. Na aprendizagem subordinada, principalmente na correlativa, o conceito subsunçor, mais geral e inclusivo, é constantemente elaborado e

modificado, a fim de servir como ancoradouro ao novo conhecimento, ou seja, ele é progressivamente diferenciado. Já na aprendizagem superordenada e/ou na combinatória, ideias presentes na estrutura cognitiva podem ser reconhecidas como relacionadas, tomando novos significados ao se reorganizarem, adquirindo novas informações. Nesse sentido, podemos dizer que houve no estudo a exploração das relações existentes entre conceitos e proposições, identificando diferenças, similaridades e/ou inconsistências, reconciliando-as no processo de aprendizagem. A esse processo Ausubel dá o nome de “Reconciliação Integrativa”. Em nossa pesquisa, ao proceder à hierarquização dos significados produzidos pelos estudantes, durante a realização dos EPs, foi possível, na maioria dos casos, identificar tais processos.

Por exemplo, no teste inicial, ficou evidenciado que A1G1 já apresentava conhecimentos prévios sobre os efeitos relacionados a sistemas acelerados, ao responder que um referencial inercial é aquele desprovido de aceleração, ou seja, que possui força resultante nula. O participante também fez construções coerentes sobre a situação em que se mede o peso de um objeto por meio de uma balança em queda livre juntamente com um elevador. Durante a realização do EP2, que aborda uma situação hipotética relacionada ao princípio da equivalência, A1G1 construiu uma argumentação coerente, utilizando-se de seus conhecimentos prévios e tornando-os mais diferenciados, principalmente por levar a situação a um contexto mais abstrato, estabelecendo o princípio da equivalência de forma coerente com as leis da Física. Ele também estabeleceu importantes relações entre os conceitos de gravitação, aceleração e sistemas de referência inerciais e não inerciais. Tais observações acerca dos significados externalizados por A1G1 durante a realização do EP2 permitem a nossa inferência de que tanto a diferenciação progressiva como a reconciliação integrativa foram alcançadas pelo estudante na atividade.

A3G2 é outro estudante que pode ser tomado como exemplo no que diz respeito aos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. No teste inicial, A3G2 respondeu que superposição na Física ocorre quando “Dois ou mais estados se misturam em um só”, o que, desconsiderando qualquer exigência de linguagem mais técnica ou matemática, está de acordo com o significado desse fenômeno. Ele também deu um exemplo de superposição de ondas e mostrou possuir conhecimento prévio acerca do conceito de probabilidade. Com base na hierarquização dos dados obtidos por meio das produções de A3G2, durante a realização do EP2, foi possível evidenciar que ele construiu, a partir da situação hipotética, uma descrição bastante precisa acerca do conceito de superposição de estados quânticos, mencionando, inclusive, a ideia de colapso da função de onda, estabelecendo muitas inter-relações entre seus conhecimentos prévios e as construções necessárias para

resolver o problema levantado pelo experimento. Além disso, A3G2 estabeleceu relações importantes entre os conceitos de medição, observação, incerteza e probabilidade. Tais considerações nos dão respaldo para inferir que houve a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos conhecimentos por parte de A3G2 durante a realização dos EPs.

Para Moreira e Massini (2001), a aprendizagem significativa por recepção está alicerçada em conceitos, ou seja, enquanto a aprendizagem significativa ocorre, conceitos se desenvolvem e se tornam cada vez mais diferenciados devido às interações decorrentes do processo de aprendizagem. A análise dos dados concernentes aos episódios de ensino envolvendo os EPs evidenciou a utilização de conceitos relativos a referencial inercial, onda eletromagnética, incerteza e superposição, entre outros. Todavia, é importante pontuar que nem sempre os estudantes aplicaram e/ou formularam esses conceitos de forma coerente com as leis da Física.

Em determinados casos, os participantes construíram significados equivocados sobre os fenômenos físicos. Para alguns, percebemos que essa construção equivocada estava relacionada a uma falta de clareza conceitual ao lidar com as situações propostas. Conforme Pozo (1998), os conceitos são as unidades básicas do significado, de modo que, sem a compreensão conceitual, os significados produzidos têm uma grande chance de serem equivocados. Acrescentamos a isso a observação de que a aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem correta (MOREIRA, 1999). Muitas vezes, alguns significados idiossincráticos podem ser coerentes para o estudante que os produziu, mas não em relação àquilo que é aceito pela comunidade científica. Em nosso estudo, em alguns casos, foram identificadas tais incoerências nas construções efetuadas pelos estudantes. Contudo, sempre que isso ocorreu, foi realizado um debate, estimulando a argumentação, e, com a intervenção do professor, somada à participação e colaboração entre os colegas, buscou-se um entendimento das situações com base nos conhecimentos vigentes no meio científico.

A hipótese inicial, e que se confirmou no estudo, transformando-se na tese defendida, é a de que os EPs podem contribuir para a aprendizagem significativa dos conceitos e fenômenos físicos, revelando-se tarefas potencialmente significativas para o ensino de Física. Tal hipótese foi levantada a partir da identificação do escasso uso didático dos EPs, o que nos levou a questionar sua contribuição para a aprendizagem em Física. Os EPs, por lidarem com a imaginação, não permitem ao professor ter acesso a elementos que estão sendo mobilizados pelos estudantes durante o exercício de pensar sobre uma dada situação. Essa característica os diferencia dos ECs, em que os elementos postos para desenvolver a atividade estão disponíveis a todos e visíveis sobre as bancadas. No caso dos EPs, o professor precisa ficar atento àquilo

que os estudantes externalizam, para que consiga perceber a forma como o pensamento está se estruturando e como os conhecimentos estão sendo elaborados. Na investigação realizada, foi possível identificarmos que, quanto maior a bagagem de conhecimentos que o estudante tem, maiores serão as conexões estabelecidas e, conseqüentemente, mais rica será a construção hipotética necessária para a realização do EP.

A principal contribuição desta pesquisa reside em trazer elementos que fomentem os professores de Física a utilizarem EPs em suas aulas, seja em nível de Ensino Superior ou de Educação Básica. Cabe-nos salientar que os professores precisam ter clareza da riqueza e da diversidade de significados que podem ser elaborados pelos estudantes durante esse tipo de atividade.

Ressaltamos, ainda, a necessidade da realização de mais estudos que busquem investigar as potencialidades do uso dos EPs no âmbito educacional. Esses estudos futuros podem abordar outros conteúdos específicos, diferentes níveis de escolaridade, ou se fundamentar em outros referenciais teóricos, o que traria uma gama mais ampla de conhecimentos a essa área ainda não muito explorada na Educação em Ciências. Dentre os vislumbres de estudos futuros, enfatizamos a possibilidade de se realizar uma pesquisa em sala de aula onde os estudantes realizariam os EPs com o auxílio de simulações computacionais, ou qualquer outro tipo de mídia digital. Como exemplo, citamos o estudo desenvolvido por Reiner (1998), em que os estudantes foram desafiados a realizar um EP, envolvendo conteúdos de óptica, com o uso de um software (Dynagrams), para a construção das situações hipotéticas por meio de simulações computacionais criadas pelos próprios participantes.



## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Sérgio de Mello; LABURÚ, Carlos Eduardo. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: NARDI, Roberto (Org.). *Questões atuais no ensino de ciências*. São Paulo: Escrituras Editora, 1998. p. 53-60.
- AUSUBEL, David Paul. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Tradução de Lígia Teopisto. Rio de Janeiro: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- AUSUBEL, David Paul; NOVAK, Joseph Donal; HANESIAN, Helen. *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*. 2. ed. Cidade do México: Editorial Trillas, 1983.
- BACHELARD, Gaston. *L'engagement rationaliste*. Paris: PUF, 1972.
- BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari Knopp. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora, 2010.
- BOHM, David. "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in terms of 'Hidden' Variables, I and II". *Physical Review*, v. 85, n. 2, p. 166-179, 1952. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRev.85.166>>. Acesso em: 05 ago. 2019.
- BROWN, James Robert. *The Laboratory of the mind*. London: Routledge, 1991.
- BROWN, James Robert. The structure of thought experiments. In: BROWN, James Robert. *The laboratory of the mind: thought experiments in the Natural Sciences*. London; New York: Routledge, 1986. p. 1-15.
- EINSTEIN, Albert. *A teoria da relatividade especial e geral*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.
- EINSTEIN, Albert. *Notas autobiográficas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.
- FINKE, Ronald A.; SHEPARD, Roger N. Visual functions of mental imagery. In: BOFF, Kenneth R.; KAUFMAN, Lloyd; THOMAS, James P. (Eds). *Handbook of perception and human performance*. Oxford, England: John Wiley & Sons, 1986. p. 1-55.
- GALILEI, Galileu. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. Trad. Pablo Ruben Mariconda. São Paulo: Editora 34, 2001.
- GIACOMELLI, Alisson Cristian. *Compreendendo a teoria da relatividade: uma proposta didática para o Ensino Médio*. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.
- GIACOMELLI, Alisson Cristian; PÉREZ, Carlos Ariel Samudio. *Compreendendo a Teoria da Relatividade*. Passo Fundo: Editora UPF, 2019.
- GLUSHKO, Robert J.; COOPER, Lynn A. Spatial comprehension and comparison processes in verification tasks. *Cognitive Psychology*, v. 10, n. 4, p. 391-421, 1978.

HELM, Hugh; GILBERT, John. Thought experiments and physics education - Part 1. *Physics education*, v. 20, n. 3, p. 124-131, 1985.

HOFSTEIN, Avi; LUNETTA, Vincent N. The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

KIOURANIS, Neide Maria Michellan. *Experimentos mentais no ensino de ciências: implementação de uma sequência didática*. 2009. 313 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, SP, 2009.

KUHN, Thomas S. *The Essencial Tension*. Chicago: The University Chicago Press, 1977.

LARROSA, Jorge. Notas sobre a experiência e o saber de experiência. *Revista Brasileira de Educação*, n. 19, p. 20-28, 2002.

LORENTZ, Hendrik Antoon; EINSTEIN, Albert; MINKOWSKI, Hermann. *O princípio da relatividade*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1958.

LORENTZ, Hendrik Antoon; EINSTEIN, Albert; MINKOWSKI, Hilbert. *Textos fundamentais da Física Moderna – volume I: o princípio da relatividade*. 3. ed. Lisboa, Portugal: Editora da Fundação Calouste Gulbenkian, 1958.

MACH, Ernest. *On Thought Experiments*. Florida: University of South Florida, 1972.

MARTINS, Roberto de Andrade. *A origem histórica da relatividade especial*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

MCALLISTER, James W. The evidential significance of thought experiment in science. *Studies in History and Philosophy of Science*, Leiden-Netherland, v. 27, n. 2, p. 233-250, 1996.

MILLAR, Robin. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory. *Studies in Science Education*, v. 14, n. 1, p. 109-118, 1987.

MONTENEGRO, Roberto Luiz; PESSOA JR., Osvaldo. Interpretações da teoria quântica e as concepções dos alunos do Curso de Física. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 107-126, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio; MASINI, Elcie Aparecida Fortes Salzano. *Aprendizagem Significativa – A teoria de David Ausubel*. São Paulo: Centauro, 2001.

MOREIRA, Marco Antonio. *A Teoria da Aprendizagem Significativa: subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de Ciências*. Porto Alegre, Brasil, 2016.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. *Explicando a teoria da relatividade*. Rio de Janeiro: Ediouro, 1997.

NORTON, John D. Thought experiments in Einstein's work. In: HOROWITZ, Tamara; MASSEY, Gerard. *Thought experiments in Science and Philosophy*. Maryland: Rowman & Littlefield Publishers, 1991. p. 129-148.

PALMERO, Maria Luz Rodríguez; MOREIRA, Marco Antonio; CABALLERO SAHELICES, Concesa; GRECA, Ileana. La Teoría del Aprendizaje Significativo. In: PALMERO, Maria Luz Rodríguez; MOREIRA, Marco Antonio; GRECA, Ileana (Orgs.). *La teoría del aprendizaje significativo em la perspectiva de la psicología cognitiva*. Barcelona: Ediciones Octaedro, 2008. p. 7-45.

PESSOA JR, Osvaldo. *Conceitos de Física quântica*. v. 1, São Paulo: Livraria da Física, 2006.

PESSOA JR, Osvaldo. On Thought Experiments: is there more to the argument? *Philosophy of Science*, v. 71, n. 5, p. 1139-1151, 2004.

POZO, Juan Ignacio. *A solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

REINER, Miriam. Thought experiments and collaborative learning in physics. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 9, p. 1043-1058, 1998.

REINER, Miriam; GILBERT, John. Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, v. 22, n. 5, p. 489-506, 2000.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da. *Laboratório didático de Física da Universidade de Passo Fundo: concepções teórico-metodológicas*. 2001. 194 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2001.

SANTOS, Carlos Alberto; SILVEIRA, Fernando Lang. *Einstein surfando em uma onda de luz: a história mal contada de um experimento idealizado*. 2016. Disponível em: <encurtador.com.br/djCJZ>. Acesso em: 20 mar. 2018.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização Científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino da Física. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (Org.). *Ensino de Física*. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 1-28.

SERWAY, Raymond A. *Física para cientistas e engenheiros com Física moderna*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996. v. 4.

SORENSEN, Roy A. *Thought Experiments*. Oxford, England: Oxford University Press, 1992.

STAKE, Robert. *Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam*. Porto Alegre: Penso, 2011.

VELENTZAS, Athanasios; HALKIA, Krystallia. The use of thought experiments in teaching physics to upper secondary-level students: two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, v. 35, n. 18, p. 3026-3049, 2013.

YIN, Robert K. *Pesquisa qualitativa do início ao fim*. Porto Alegre: Penso, 2016.

**APÊNDICE A - Teste inicial estudo piloto****Questionário para identificar os subsunçores**

1.O que diferencia um referencial inercial de outro não inercial?

2.Um corpo que efetua um movimento circular com velocidade linear de módulo constante (MCU) pode ser considerado um corpo de referência inercial? Justifique a sua resposta.

( ) sim ( ) não

Um ônibus se move com velocidade constante em módulo, direção e sentido em relação ao leito de uma estrada perfeitamente plana e horizontal. Tanto o leito da estrada como o ônibus podem ser considerados corpos de referência inerciais. Uma bola de gude é posta para rolar (sobre o assoalho do ônibus que precisa ser considerado perfeitamente plano e horizontal) de uma das laterais do veículo até a outra, o vetor que representa sua velocidade inicial forma um ângulo de  $90^\circ$  em relação a lateral do ônibus. Para responder as questões abaixo considere que a observação é realizada a partir da vista superior, ou seja, de cima para baixo.

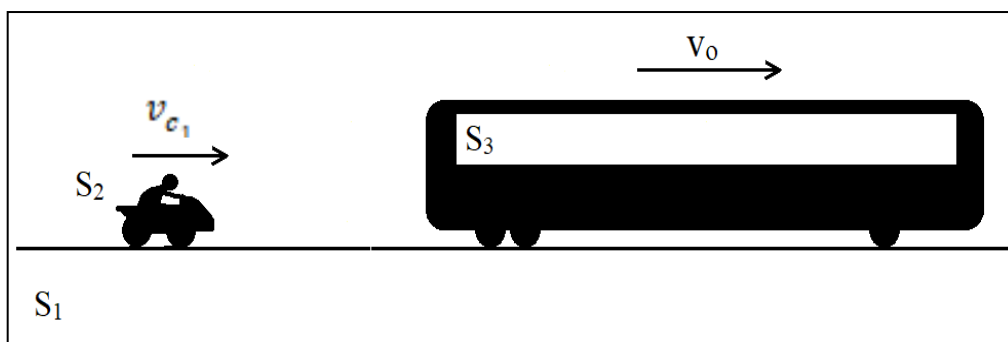
a) Como será a trajetória da bola de gude definida por um observador que se encontra em repouso em relação ao ônibus?

b) Como será a trajetória da bola de gude definida por um observador que se encontra em repouso em relação ao leito da estrada?

O que você entende pelo princípio da relatividade dos movimentos de Galileu?

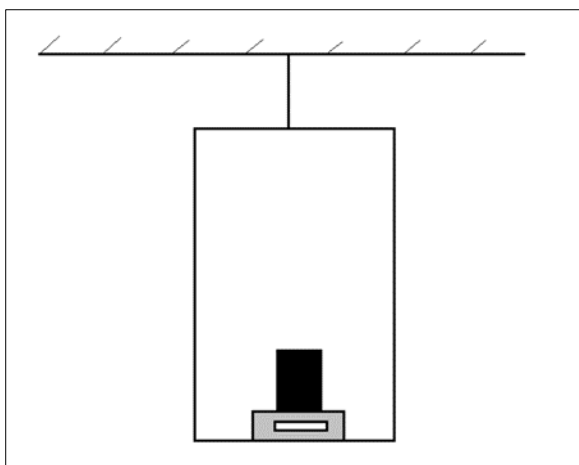
### APÊNDICE B - Teste inicial estudo final – Grupo G1

- 1) A figura mostra um motociclista perseguindo um ônibus. Fixam-se três sistemas de referencia, S1 está em repouso em relação a estrada, S2 em relação ao motociclista e S3 em relação ao ônibus. Responda as questões que seguem com base na condição em que tanto o motociclista como o ônibus se movem com velocidade constante, todavia a velocidade do motociclista  $v_{c1}$  é menor que a do ônibus  $v_0$ . (Considere o sentido positivo das velocidades como o que está indicado pelos vetores da figura).
- Qual é o módulo da velocidade do ônibus quando medida pelo motociclista, e qual o seu sentido?
  - Repita a questão a) para um observador em repouso em relação ao ônibus que mede a velocidade do motociclista.
  - Repita a questão a) e b) para a condição em que tanto o motociclista como o ônibus se movem, em relação a S1, com velocidade constante, todavia o módulo da velocidade do motociclista  $v_{c1}$  é igual à do ônibus.



- Segundo a teoria eletromagnética, qual é a definição de onda eletromagnética?
- O que diferencia um referencial inercial de outro não inercial?
- Analise a situação hipotética a seguir: suponha que você está viajando no vácuo dentro de uma nave muito veloz na mesma direção, porém em sentido contrário à de um feixe de luz. A velocidade da nave em relação a Terra é igual a metade da velocidade da luz ( $c$ ), e a velocidade do feixe de luz em relação a Terra é igual a  $c$ . A velocidade do feixe de luz em relação a nave é igual a:
  - $0,5c$
  - $1,5c$
  - $c$
  - $2c$

- 5) A figura abaixo mostra um elevador no vácuo suspenso por uma corda em um campo gravitacional uniforme: Inicialmente o elevador está em repouso e a balança indica o valor do peso  $P$  do corpo. Se a corda for cortada o elevador começa a se mover em queda livre com aceleração igual à aceleração da gravidade no local. Para essa segunda situação o valor do peso medido pela balança será nulo, maior, menor ou igual ao da situação anterior? Explique.



**APÊNDICE C - Teste inicial estudo final – Grupo G2**

- 1) Quais são os tipos de radiação existentes?
- 2) O momento linear do elétron é dado pela sua massa, velocidade e um fator, chamado fator de Lorentz. Um fóton, por mais que não possua massa, também possui momento linear. Escreva a equação do momento linear do elétron e do fóton.
- 3) Descreva o que você entende por efeito Compton.
- 4) Em Física o que significa superposição? Responda e dê um exemplo de superposição na Física.
- 5) Muitas vezes para resolver alguma “disputa” se “tira” cara ou coroa. A ideia é lançar uma moeda verticalmente para cima apanhando-a quando retorna a sua mão, observando qual das faces da moeda caiu voltada para cima. Discuta o que embasa matematicamente esse “jogo”.
- 6) A massa específica da água consiste na razão da massa pelo volume de uma certa amostra de água. Um estudante de Física resolve determinar experimentalmente a massa específica da água. Qual o procedimento ele pode adotar para obter maior credibilidade na sua medida?

**ANEXO A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – estudo piloto****Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE**

Você está sendo convidado a participar da pesquisa referente ao uso de Experimentos de Pensamento para o ensino de Física, de responsabilidade do pesquisador Alisson Cristian Giacomelli. Esta pesquisa vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade de Passo Fundo está sob coordenação da Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa e tem por objetivo contribuir com a qualificação do processo de ensino-aprendizagem na disciplina de Física, por meio da discussão de novas ferramentas educacionais. As atividades serão desenvolvidas nas dependências do Instituto de Ciências Exatas e Geociências da Universidade, em horários extraclasse e de comum acordo com os participantes e o pesquisador.

Esclarecemos que a sua participação não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento. Além disso, garantimos que você receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão coletadas utilizando os registros em papel e videografações. Todo material será analisado sem a identificação dos participantes, portanto, no anonimato, bem como será destruída após a realização da pesquisa. Além disso, inferimos que os materiais analisados serão utilizados exclusivamente com o objetivo de divulgação em periódicos e eventos científicos.

Salientamos que a participação na pesquisa não expõe a riscos de qualquer natureza e caso tenha qualquer dúvida sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável e orientadora do estudo, Dra. Cleci Werner da Rosa, pelo telefone (54) 8371, ou com a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade de Passo Fundo.

Dessa forma, se você concordar em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações registradas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização.

Passo Fundo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2018.

Nome do participante: \_\_\_\_\_


Data de nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ RG: \_\_\_\_\_

Assinatura do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura do pesquisador: \_\_\_\_\_



## ANEXO B - Parecer do Comitê de Ética e Pesquisa – estudo-final

<b>UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO/ VICE-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - VRPPG/ UPF</b>												
Continuação do Parecer: 3.671.380												
<b>Considerações Finais a critério do CEP:</b>												
<b>Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:</b>												
Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação								
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1423238.pdf	15/09/2019 23:15:07		Aceito								
Outros	declaracao.pdf	15/09/2019 23:14:31	ALISSON CRISTIAN GIACOMELLI	Aceito								
Outros	autorizacaoescaneada.pdf	10/09/2019 12:56:28	ALISSON CRISTIAN GIACOMELLI	Aceito								
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle.docx	10/09/2019 12:51:09	ALISSON CRISTIAN GIACOMELLI	Aceito								
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetedepesquisa.docx	10/09/2019 12:50:24	ALISSON CRISTIAN GIACOMELLI	Aceito								
Folha de Rosto	folhaderostoassinada.pdf	10/09/2019 12:49:08	ALISSON CRISTIAN GIACOMELLI	Aceito								
<b>Situação do Parecer:</b> Aprovado												
<b>Necessita Apreciação da CONEP:</b> Não												
PASSO FUNDO, 30 de Outubro de 2019												
<hr style="width: 30%; margin: 0 auto;"/> <b>Assinado por:</b> <b>Felipe Cittolin Abal</b> (Coordenador(a))												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"> <b>Endereço:</b> BR 285- Km 292 Campus I - Centro Administrativo/Reitoria 4 andar                 </td> </tr> <tr> <td> <b>Bairro:</b> São José                 </td> <td> <b>CEP:</b> 99.052-900                 </td> </tr> <tr> <td> <b>UF:</b> RS                 </td> <td> <b>Município:</b> PASSO FUNDO                 </td> </tr> <tr> <td> <b>Telefone:</b> (54)3316-8157                 </td> <td> <b>E-mail:</b> cep@upf.br                 </td> </tr> </table>					<b>Endereço:</b> BR 285- Km 292 Campus I - Centro Administrativo/Reitoria 4 andar		<b>Bairro:</b> São José	<b>CEP:</b> 99.052-900	<b>UF:</b> RS	<b>Município:</b> PASSO FUNDO	<b>Telefone:</b> (54)3316-8157	<b>E-mail:</b> cep@upf.br
<b>Endereço:</b> BR 285- Km 292 Campus I - Centro Administrativo/Reitoria 4 andar												
<b>Bairro:</b> São José	<b>CEP:</b> 99.052-900											
<b>UF:</b> RS	<b>Município:</b> PASSO FUNDO											
<b>Telefone:</b> (54)3316-8157	<b>E-mail:</b> cep@upf.br											
Página 04 de 04												

## ANEXO C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – estudo-definitivo

### TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “experimentos de pensamento: da compreensão às contribuições para a aprendizagem significativa em física”, de responsabilidade do pesquisador Me. Alisson Cristian Giacomelli. Esta pesquisa é desenvolvida em razão da necessidade de qualificação do processo ensino-aprendizagem em Física. O objetivo do trabalho é analisar o processo de aprendizagem de acadêmicos em Física frente à utilização de episódios históricos envolvendo os EPs como estratégia didática.

A pesquisa será desenvolvida nas dependências da instituição, durante o período de aula e envolve a participação, por parte do estudante, em dois episódios de ensino envolvendo experimentos de pensamento. Todo o desenvolvimento da atividade será registrado em vídeo, e também serão coletados materiais escritos produzidos pelos participantes. Não serão divulgados os nomes dos participantes da pesquisa, garantindo o anonimato de todos os envolvidos.

Esclarecemos que a sua participação não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu assentimento. Além disso, garantimos que você receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão processadas de forma qualitativa e não será fornecido identificação do nome dos sujeitos participantes. Tais dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos sendo garantido o sigilo e confidencialidade das informações. Os dados serão destruídos após a pesquisa.

Você não terá qualquer despesa para participar da presente pesquisa e não receberá pagamento pela sua participação no estudo. Os riscos oferecidos pela pesquisa são mínimos, envolvendo possíveis stress ou cansaço mental durante o desenvolvimento das atividades, o que deverá ser informado imediatamente aos pesquisadores para que possam ser tomadas as medidas necessárias, como um possível intervalo para descanso, ou até mesmo a suspensão na participação da pesquisa. Os benefícios da pesquisa estão ligados a contribuição para qualificar o processo de ensino-aprendizagem em Física e repensar as práticas pedagógicas presentes nos ambientes educacionais.

Caso você tenha dúvidas sobre o comportamento do pesquisador e caso considerem-se prejudicados na sua dignidade e autonomia, vocês podem entrar em contato com o pesquisador Me. Alisson Cristian Giacomelli pelo telefone (54) 999637383, ou com a orientadora da tese de doutorado em desenvolvimento, a pesquisadora Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa pelo telefone (54) 3316-8350, ou com o Programa de Pós-graduação em Educação, da Universidade de Passo Fundo pelo telefone (54) 3316-8295. Podem, ainda, sendo este o seu desejo, consultar o Comitê de Ética em Pesquisa da UPF, pelo telefone (54) 3316-8157, no horário das 08h às 12h e das 13h30min às 17h30min, de segunda a sexta-feira.

Dessa forma, se você concorda em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações registradas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização. Informamos que este Termo também assinado pelo pesquisador responsável, é emitido em duas vias, das quais uma ficará com você e outra com o pesquisador.

Passo Fundo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Nome do participante: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Assinatura do pesquisador: \_\_\_\_\_

CIP – Catalogação na Publicação

---

- G429e Giacomelli, Alisson Cristian  
Experimentos de pensamento [recurso eletrônico] : da concepção histórico-epistemológica às contribuições para a aprendizagem significativa em física / Alisson Cristian Giacomelli. – 2020.  
2,4 Mb ; PDF.
- Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cleci Teresinha Wener da Rosa.  
Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de Passo Fundo, 2020.
1. Física – Estudo e ensino. 2. Professores – Formação.  
3. Teoria da aprendizagem. 4. Significado – Hierarquia.  
I. Rosa, Cleci Teresinha Wener da, orientadora. II. Título.

CDU: 53:37

---

Catálogo: Bibliotecária Schirlei T. da Silva Vaz - CRB 10/1364